

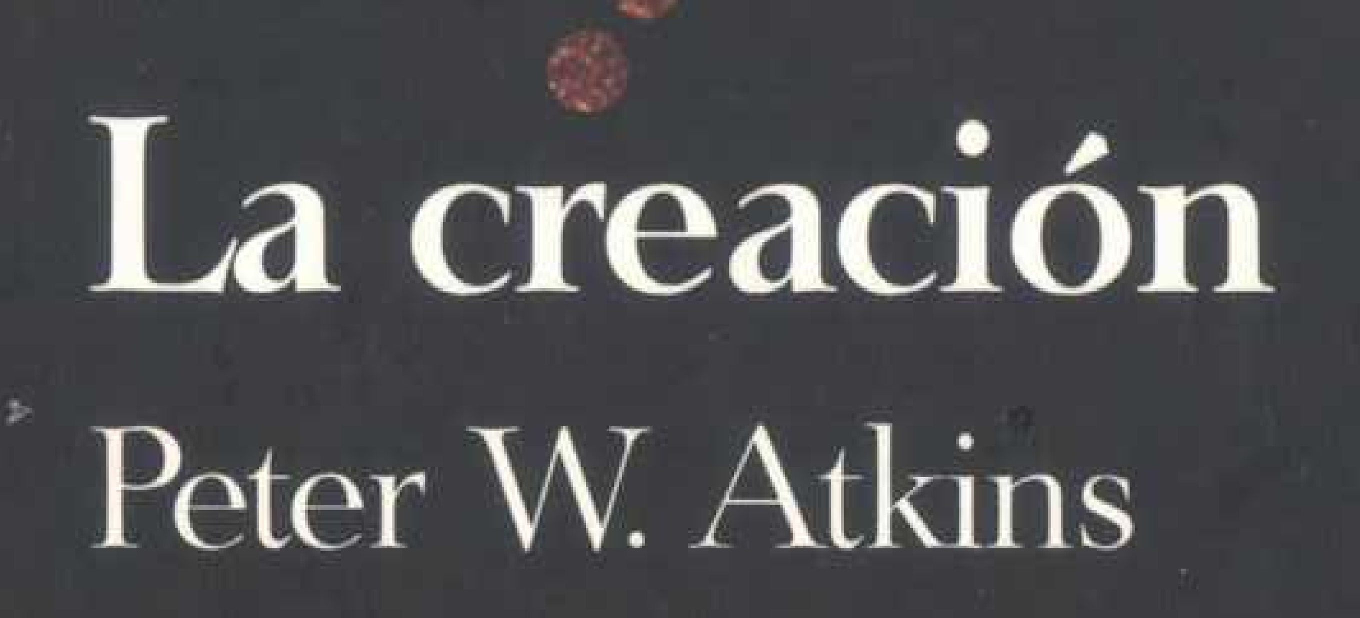
¿Por qué, cómo y dónde cambian las cosas?
¿Cuántas dimensiones hay en el espacio?
¿Por qué transcurre el tiempo?
El autor responde a estas y otras preguntas relacionadas con el tema con una lógica particular. Pretende demostrar que es posible pensar racionalmente acerca de cuestiones que, en opinión de muchos, escapan a toda posible explicación, tales como los procesos implicados en la creación del Universo y la aparición en él del conocimiento.

La creación es a la vez una visión dominante y poética de la ciencia: "No hay nada que no pueda ser entendido" sostiene Atkins.
Peter W. Atkins es profesor de Química en la Universidad de Oxford y miembro de la junta de gobierno del Lincoln College.



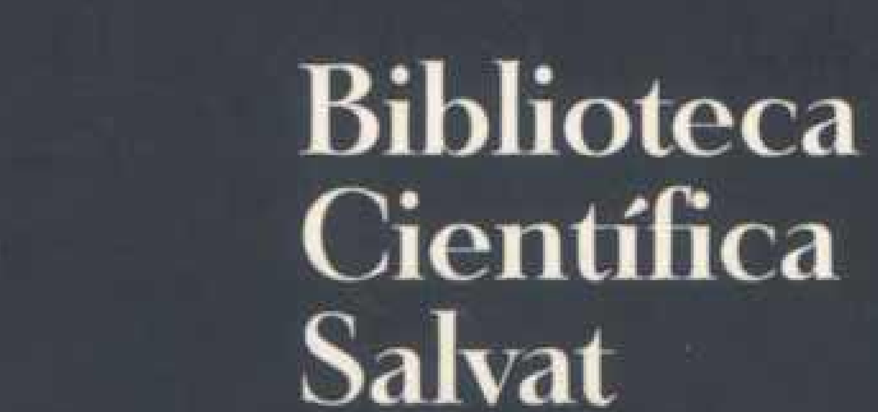
87



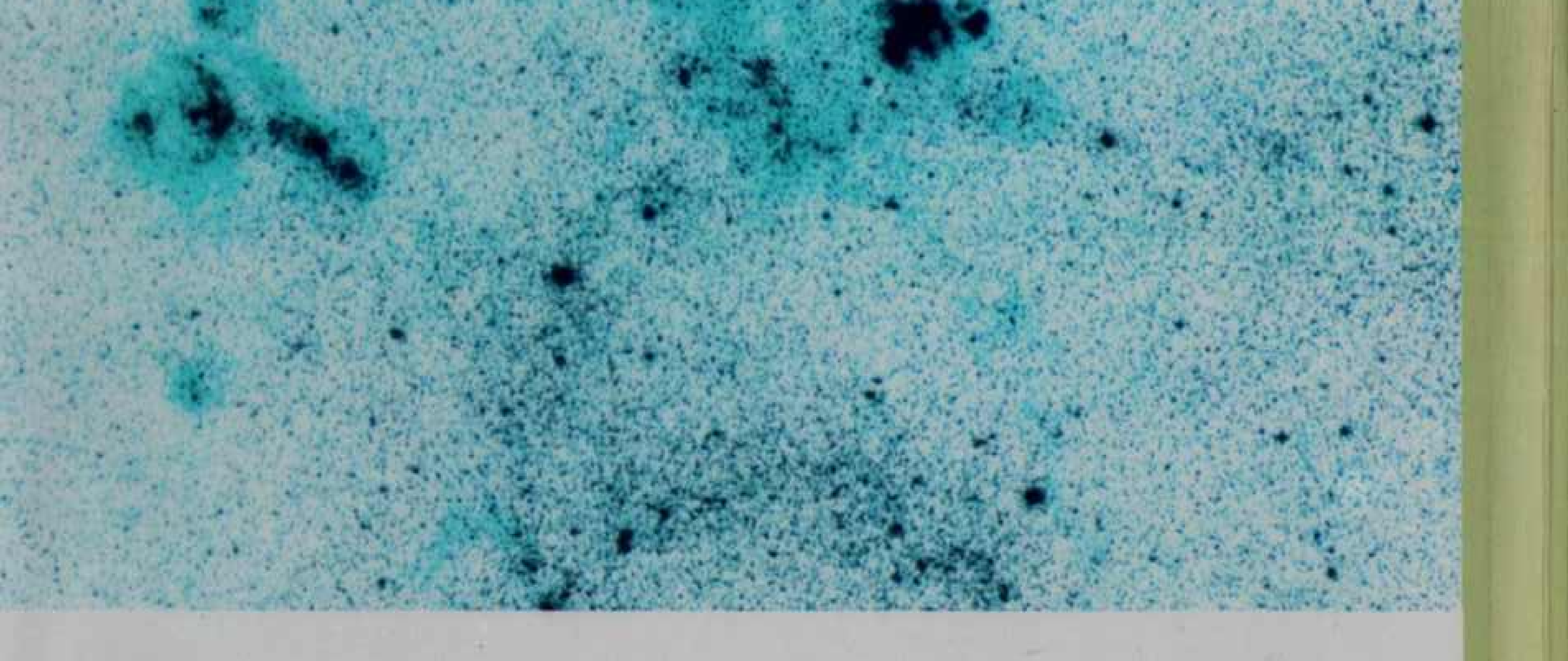


La creación

Peter W. Atkins



Biblioteca
Científica
Salvat

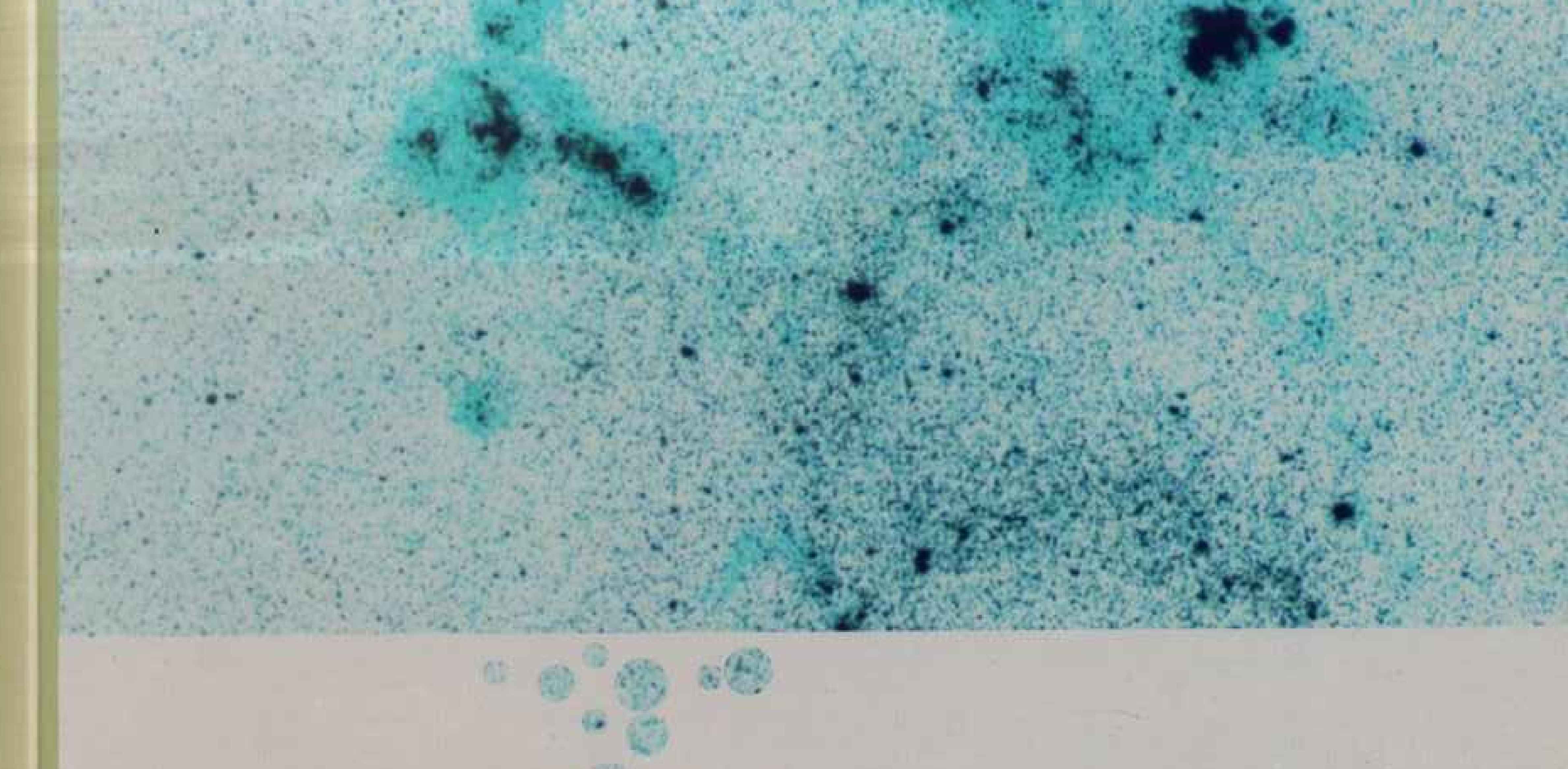


¿Por qué, cómo y dónde cambian las cosas?
¿Cuántas dimensiones hay en el espacio?
¿Por qué transcurre el tiempo?
El autor responde a estas y otras preguntas relacionadas con el tema con una lógica particular. Pretende demostrar que es posible pensar racionalmente acerca de cuestiones que, en opinión de muchos, escapan a toda posible explicación, tales como los procesos implicados en la creación del Universo y la aparición en él del conocimiento.

La creación es a la vez una visión dominante y poética de la ciencia: "No hay nada que no pueda ser entendido" sostiene Atkins.
Peter W. Atkins es profesor de Química en la Universidad de Oxford y miembro de la junta de gobierno del Lincoln College.

La creación Peter W. Atkins

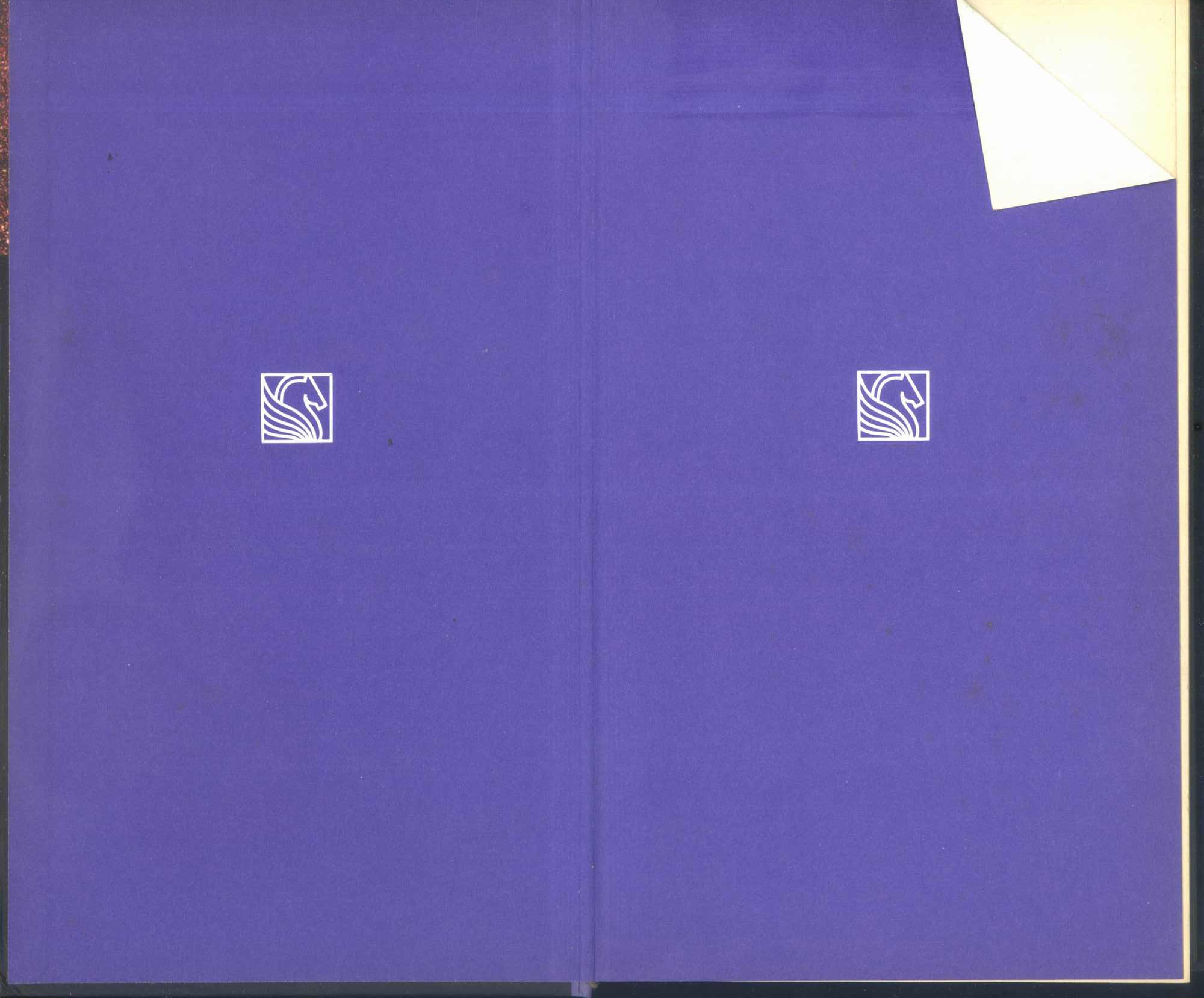
87



La creación

Peter W. Atkins

Biblioteca
Científica
Salvat



La creación

Biblioteca
Científica
Salvat

La creación

Peter W. Atkins

SALVAT

Versión española de la obra *The Creation*, de Peter W. Atkins

Traducción: Juan Pedro Acordagoicoechea Goicoechea
Diseño de cubierta: Ferran Cartes / Montse Plass

ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-8967-2 (Volumen 87)
Depósito Legal: B-1720-1995
Publicada por Salvat Editores, S.A., Barcelona
Impresa por Printer, i.g.s.a. Marzo 1995
Printed in Spain

ÍNDICE

Natura enim simplex est
et rerum causis superfluis
non luxuriat.

(Pues la naturaleza es simple
y no es pródiga en
causas superfluas de las cosas.)

ISAAC NEWTON
Principia, libro III, regla 1

PREFACIO

Es ésta una exposición de la naturaleza y origen del universo; pero no es un libro más de astronomía o sobre partículas elementales. Hay aspectos centrales del universo (tales como su origen, la naturaleza del tiempo, y del conocimiento y la conciencia) que pueden ser objeto, en la actualidad, de una clarificación científica. Los sitúo en mitad del escenario, pues, en fin de cuentas, son los más interesantes. Evito entrar en detalles (se pueden ver en muchísimos otros libros) y me limito a exponer los grandes rasgos de las explicaciones científicas y lo que ellas implican.

Sostengo que no hay nada que no pueda ser entendido, y que la senda de la comprensión consiste en mondar las apariencias para que quede al descubierto el corazón. Este núcleo es siempre de una insuperada simplicidad. A lo largo del camino que vamos a seguir encontraremos preguntas muy simples y, lo que es más importante, descubriremos que tienen respuestas muy simples. Pretendo mostrar que es posible pensar racionalmente acerca de temas que, en opinión de muchos, escapan a toda posible explicación, tales como los procesos implicados en la crea-

ción del universo y en la aparición en él del conocimiento.

Dado que paso rápidamente por campos muy vastos, y a veces salto de los átomos a la voluntad libre dentro de una misma frase, puede parecer en alguna ocasión que caigo en el misticismo. No es así. Salto porque quiero inculcar el pensamiento de que una ramificación de un punto simple puede ser un comportamiento complejo, y porque quiero que usted viva con la idea de que todo (y quiero decir todo) se puede tratar racionalmente. Éste es un ensayo de un reduccionismo extremo y de un racionalismo militante: que la longitud del salto no le induzca erróneamente a pensar que es incontrolado.

Pretendo hacer ver que el universo puede empezar a existir sin ninguna intervención extraña y que no hay ninguna *necesidad* de invocar la idea de un Ser Supremo en ninguna de sus numerosas manifestaciones. He de admitir, sin embargo, que no es probable que argumentos como los míos influyan en aquellos que en algún sentido son religiosos. No obstante, espero que admitirán al menos que la ciencia es extraordinariamente potente y que, si prescindimos (como yo afirmo que debemos hacer) de la pregunta por un "proyecto o plan" del mundo, parece estar al filo de explicarlo todo.

Espero que lean primero sólo las páginas impares. Las pares están para eliminar oscuridades (cuando puedan hacerlo; lo cual es cada vez menos frecuente a medida que avanza la argumentación) y para indicar la fuente de las ideas. He procurado que estas fuentes sean poco complejas y sólo he acudido a monografías especializadas cuando no las he encontrado en *Scientific American* [desde 1976 en edición castellana con el título de *Investigación y Ciencia*].

El origen de este libro está en una conferencia que di en el Harvey Mudd College de Claremont, California. Ha pasado por numerosas revisiones y me he beneficiado de los consejos y las críticas de John Polkinghorne, Martin Rees, Michael Rowan-Robinson y John Wheeler (he tomado ideas de todos ellos, aunque no todos suscriben todos mis puntos de vista). Ha revisado el ir y venir del manuscrito mi editor, Michael Rodgers, al que, como siempre, tanto debemos el texto y yo.

P. W. A.

Lincoln College
Oxford, 1981

La mayor parte de las ideas que aparecen en este libro las he tomado de otras personas. Con estas notas querría rendir homenaje a su imaginación (y presentar a un tiempo una base a los saltos, especulaciones y, a veces, exageraciones que componen el eje de la argumentación).

Se puede ver una atractiva introducción al tema de la emergencia de las formas biológicas a partir de la materia orgánica no viviente en un número monográfico de *Investigación y Ciencia*[1*] dedicado a la evolución. Richard Dawkins[2] describe con más detalle y vigor el desarrollo de los seres primitivos hasta llegar a lo que de forma imprecisa y vaga designo como elefantes (y hombres). Sostiene que el principal objetivo de los sistemas biológicos es el de ser vehículos de la supervivencia y evolución continuada de los genes, el paquete de información codificada que lleva consigo cada célula.

* Estas llamadas numéricas remiten a la bibliografía, situada al final de la obra.

I. COSAS OBVIAS

Vamos a emprender una expedición. Es una expedición de comprensión, que nos va a llevar al límite del espacio, del tiempo y de la inteligencia. En ella probaré que no hay nada que no se pueda entender, que no hay nada que no se pueda explicar y que todo resulta extraordinariamente simple.

Una gran parte del universo no requiere ninguna explicación. Por ejemplo, los elefantes. Desde el momento en que las moléculas aprendieron a competir y a crear otras moléculas como ellas, se habrán encontrado, a su debido tiempo, elefantes y cosas que se parecen a elefantes vagando por los campos. Los detalles de los procesos implicados en la evolución son fascinantes, pero carecen de importancia: las moléculas, que compiten y se replican, inevitablemente evolucionarán, si disponen de tiempo.

Algunas de las cosas que se parecen a los elefantes serán hombres. Y también ellos carecen de importancia. Es innegable (pero no necesariamente predictible) que, desde el momento en que accidentalmente han descubierto la reproducción, las moléculas se agruparán, en un lugar o en otro

Conviene distinguir entre innegabilidad e impredictibilidad. Algunos aspectos del mundo son tan intrincadamente complejos que bien podría ser que no fueran nunca objeto de predicción científica. Considérese, por ejemplo, la posibilidad de predecir la personalidad de uno a partir de un conocimiento detallado del ADN de esa persona. Pero queda en pie la *potencial* predictibilidad incluso de estas propiedades complejas, ya que se conocen los rasgos generales de sus fundamentos y principios, y además dicho conocimiento irá en aumento.

Más adelante trataré más ampliamente de las reacciones químicas. Las reacciones en una solución son mucho más sutiles que las que tienen lugar en un gas, al igual que la jardinería da productos más refinados que los accidentes de tráfico. En la solución existe la posibilidad de complejidad por razón de la sutileza que se ofrece a una reacción (por ejemplo, modificando uno o dos enlaces en una molécula que consta de miles).[3, 4]

(aquí, tal como ha sucedido), en grupos configurados en la forma de hombres y con sus funciones, y que también se encontrarán un día estos hombres vagando por algunos campos. Su función peculiar pero no significativa está en que son capaces de comentar la naturaleza, contenido, estructura y origen del universo, y en que, marginalmente, pueden inventar fantasías y gozarse en comunicarlas.

Carecen también de importancia las moléculas equipadas para la competición, la supervivencia y la reproducción. Es innegable que pueden aparecer si se da la adecuada proporción de ingredientes, una plataforma de calor estable, y tiempo.

Las moléculas pequeñas se convierten en mayores comiéndose a otras aún más pequeñas, si bien no siempre está claro quién se come a quién. Las moléculas pequeñas comen por impacto, y lo que emerge de sus colisiones es, a veces, una molécula más grande (se han agrupado más átomos) o bien se sustituye en la nueva un átomo de la molécula original por un racimo de átomos. A veces una molécula casi completa queda incorporada en la red de átomos de la molécula original, como una mosca en una tela de araña. Los vencedores en tales comidas pueden repetir la operación con otros, y los comensales con éxito desarrollan maneras más elaboradas de hacerse con la comida. Andando el tiempo el refinamiento es tan grande que quienes verdaderamente tienen éxito donde menos invierten es en ovejas, y es una especulación económica y filosófica la que dirige la acción de devorar.

Las pequeñas moléculas primitivas y poco elaboradas son también insignificantes. Es innegable que pueden empezar a existir si se dan los átomos apropiados, pues las moléculas pequeñas no son sino unos pocos átomos enlazados entre sí, y los átomos se enlazan entre sí. Si hay átomos, un día u otro habrá moléculas; y si hay moléculas en plataformas cálidas y húmedas, andando el tiempo habrá elefantes.

Estoy seguro de que ven adónde vamos a desembocar. Supongamos que usted se dispone a proyectar un universo.

En *The Cambridge Encyclopaedia of Astronomy*[5] se puede ver una exposición introductoria de la formación de los elementos (nucleosíntesis). En pocas palabras, el hidrógeno y el helio del universo se sintetizaron en la explosión inicial, en la "gran explosión" *(big bang)*. Los elementos más pesados se han formado (y se siguen formando) en los hornos de las partes centrales de las estrellas, dispersándose después por el resto del universo en las sucesivas explosiones que tienen lugar en las varias etapas del ciclo vital de una estrella.

Si usted fuera omnipotente, podría dar una especificación detallada de todas las criaturas, tanto grandes como pequeñas. Si estuviera diseñando nuestro universo actual, incluiría los detalles pormenorizados de un elefante. Pero ha resultado ser que los elefantes son inevitables, dadas unas moléculas capaces de competir y reproducirse, y de experimentar la historia ambiental de este planeta. Por consiguiente, si a usted no le urgiera el tiempo, una manera mucho más sencilla de diseñar el universo sería especificar un buen surtido de moléculas que luchan, juntarlas y sentarse a esperar. Al cabo de un tiempo sus descendientes serán elefantes y hombres.

Pero, además, las moléculas complejas se forman a partir de otras algo más simples que pueblan los planetas; y, por consiguiente, se podría simplificar aún más la especificación. Esta misma simplificación se puede, a su vez, simplificar, pues si usted especifica sólo los elementos y quizás un par de cosas más, más pronto o más tarde habrá elefantes.

La cuestión que se suscita ahora es la siguiente. Supongamos que usted prefiere ser un creador infinitamente perezoso: ¿cuál es el *mínimo* de especificación con el que usted puede salir airoso? ¿Necesita, en realidad, el esfuerzo molesto de especificar unos cien tipos diferentes de átomos? ¿Es posible especificar un puñado de cosas que, si se dan en la proporción adecuada, lleven primero a los elementos y luego a los elefantes? ¿Se podría remontar todo el universo a una *única* cosa, que, si está adecuadamente especificada, lleve inevitablemente a los elefantes? ¿Podría usted (ya que es infinitamente perezoso), de hecho, ahorrarse especificar y hacer incluso eso? Si usted pudiera (y vamos a estar muy cerca de ver que puede), no desempeñaría ninguna función en la creación del universo.

A estas alturas nuestro objetivo tendría que estar claro. Hemos de ir tras las pistas del cero absoluto de implicación creativa en la creación, tras el cero absoluto de intervención. La única pista de que disponemos al partir es que la

Nadie está aún en condiciones de ser terminante sobre la solución del problema de la cosmogonía (la formación del universo) y, por tanto, he de advertir al lector que, a medida que avanza, la argumentación recurrirá cada vez más a la especulación. Si bien es muy fácil utilizar un lenguaje directo para expresar ideas que, en cierto modo, están ya establecidas, no lo es tanto hacer más sencillas las exposiciones de ideas que aún no han sido formuladas con precisión.

Esto tiene dos consecuencias. Primera, que en este libro se entreverarán la especulación y los hechos. Procuraré señalar qué es qué. La segunda, que casi con toda seguridad se presentará, al menos al final, cierto sentimiento de desilusión. La razón es que no sabemos aún toda la verdad acerca de la cosmogonía y, por consiguiente, difícilmente se puede esperar que no le falten detalles a la explicación. No se olvide que lo que estoy intentando hacer es mostrar que se pueden hacer preguntas profundas sobre cosmogonía, que en algunos casos ya han sido contestadas y que, en otros, la ciencia está indicando el tipo de respuesta que puede que se dé muy pronto.

En Hoyle[6] se puede ver una introducción a la formación del universo y la manera en que está determinado. También explica la nucleosíntesis algo más detalladamente que en la cita bibliográfica anterior. Una visión general, popular y muy sugerente, de la formación del universo, incluyendo un relato sencillo del origen de los elementos, la ofrece Nigel Calder.[7] Mi mención del polvo galáctico es probablemente una reminiscencia de aquella afirmación suya más evocadora: "En cierto sentido la carne humana está hecha de polvo estelar" (p. 32).

Para una evaluación del tamaño del universo, de cómo se le mide y un elenco de sus contenidos, la *Cambridge Encyclopaedia* es una fuente tan buena como cualquier otra. Es posible dar una receta[8] de un universo patrón a una escala insospechada por la señora Beeton. Suponiendo que la edad actual del universo es de 10^{10} años, el radio actual es de $1{,}3 \times 10^{10}$ años-luz ($1{,}2 \times 10^{26}$ m). La densidad media actual es de unos $1{,}4 \times 10^{-29}$ g cm^{-3} (que viene a corresponder a un promedio de un átomo por metro cúbico), y su masa total es aproximadamente de unos $5{,}7 \times 10^{56}$ g. Hay unas $2{,}9 \times 10^{23}$ estrellas repartidas por unas 10^{11} galaxias. Cada cinco segundos el universo se expande en una cantidad aproximadamente igual al volumen de nuestra galaxia. Todo se acabará en unos 5×10^{10} años. Disponemos también de análisis en los que se critican estas cantidades.[9, 10]

respuesta última será, casi con toda certeza, de una simplicidad extrema, pues tan sólo lo perfectamente simple puede llegar a existir cuando todos los agentes duermen (o no se hallan presentes). Esto sugiere que examinemos el universo a la búsqueda de las huellas de su simplicidad subyacente. Mientras las buscamos hemos de tener siempre muy presente que la complejidad del comportamiento y de las apariencias puede ser ilusoria y que lo que percibimos como complejidad puede ser resultado de cadenas de simplicidad.

Partimos de este punto. La única fe que necesitamos para esta expedición es creer que todo se *puede* entender y que, en último término, no hay nada que explicar.

Nuestra apreciación de la naturaleza del universo nace de nuestra capacidad de prestar atención, observar y reflexionar sobre las cosas que contiene. Advertimos, por ejemplo, que todo está formado de la misma materia. Los animales comen plantas y se beben los ríos. Las plantas comen montañas. Al morir los animales contribuyen a la formación de otras montañas y otras plantas. Las montañas brotan de los planetas, que son acreciones de fragmentos y residuos de estrellas muertas. Todo está formado de la misma materia, y cuanto más lejos llega nuestro examen menos probable parece que haya otra materia distinta en alguna otra parte. Somos polvo galáctico y volveremos a ser polvo galáctico.

Advertimos que hay un universo. Con este término quiero significar mucho más que la mera existencia de una colección de estrellas flotando en un vacío y en la que nos incluimos nosotros. Uno de los mayores descubrimientos ha sido el averiguar que se puede medir el universo y que tiene sentido atender a su tamaño y edad. Caer en la cuenta de que el universo puede ser medido es más revolucionario que fijar sus medidas reales, pues la existencia de la extensión y de la duración nos coloca frente a los problemas de un límite del espacio y de una frontera del tiempo. Advertir estos problemas es un paso hacia su comprensión, porque si podemos comprender lo que significa estar más allá del

Ésta es la paradoja de Olbers.[11, 12] La paradoja surge al suponer que las estrellas tienen dimensiones finitas, y cualquier línea que, partiendo de un observador, se proyecte hasta el espacio infinito cortará, más tarde o más temprano, la superficie de una estrella. Esto presupone que el universo es infinito en extensión y en el tiempo, uniforme en el espacio y estático. La paradoja se podría solucionar de muchas maneras. Por ejemplo, si el universo es finito en extensión, no habrá estrellas más allá de un radio determinado, y, por tanto, algunas líneas que partan del ojo de un observador no encontrarán ninguna estrella. Asimismo, si el universo es infinito en extensión, pero temporalmente finito, la luz de estrellas lejanas no habría tenido tiempo de llegar hasta nosotros. La forma moderna de resolver la paradoja es más sutil, como tantas otras cosas de la relatividad general y la cosmología, en las que conceptos familiares como edad y distancia pierden su simplicidad. La solución moderna se basa en eliminar el presupuesto de que el universo es estático.[12]

límite del espacio y antes del comienzo del tiempo, entonces estaremos más cerca de comprender la naturaleza del espacio y del tiempo. La clave de la intelección se halla en la identificación y comprensión de lo más primitivo.

Es irrelevante que pensemos que el universo discernible es grande o pequeño. A escala del tamaño del hombre es ciertamente inmenso. Pero el hombre no es intrínsecamente significante, y, por tanto, no podemos considerarlo como un criterio significativo del tamaño. La inmensidad del universo es manejable si nos atrevemos a pensarlo a una escala lo suficientemente grande: una actitud mental bastante amplia hace desaparecer el temor reverencial que la inmensidad inspira. El temor reverencial atonta. Piensen en el universo como en una bocanada de polvo de aproximadamente un metro de diámetro. Cada grano de polvo es una galaxia. Nosotros vivimos en las proximidades de una estrella tirando a corriente, que forma parte de una galaxia tirando a corriente en una parte insignificante de la bocanada de polvo.

Todas las noches se nos hace saber que el universo tuvo un comienzo, pero la mayoría de nosotros sólo lamenta, utiliza o se deleita de la oscuridad, sin caer en la cuenta de que aporta conocimiento.

Un brevísimo pensamiento basta para mostrar que la oscuridad de la noche elimina la mitad de la eternidad. Si el universo fuera infinito y eterno, entonces veríamos la luz de una estrella, cualquiera que fuera la dirección en que miráramos. Cada punto del cielo sería una estrella y todo el firmamento sería tan brillante como la superficie del Sol. Ni siquiera de día se podría distinguir el Sol del fondo brillante. Mas de noche el cielo es oscuro y las estrellas están separadas por intervalos; el universo, pues, no puede ser infinito y eterno. He aquí un ejemplo de cómo prestar atención a un lugar común podía haber inspirado una revolución.

Una inteligencia algo más aguda podría extraer más conocimiento de la oscuridad. Podría captar cómo una ex-

El microscopio electrónico, utilizado de forma adecuada, tiene la suficiente sensibilidad como para ofrecer imágenes de átomos.[13] La difracción de rayos X es la base de la técnica moderna de determinar las estructuras de las moléculas, en especial de las grandes moléculas de relevancia biológica, tales como las proteínas y el ADN. Los electrones aparecen agrupados en manchas claramente identificables como átomos.[14] La microscopia de ionización del campo ofrece representaciones de átomos aislados y se la puede adaptar de forma tan precisa que el experimentador pueda localizar a un único átomo, arrancarlo de la superficie de la muestra e identificarlo o emplearlo para algún uso.

pansión del universo en todas direcciones puede difuminar la luz de las estrellas distantes y disminuir su intensidad. En realidad, los astrónomos vieron con sus telescopios esta expansión antes de que interviniera la aguda inteligencia. Vieron que las galaxias se retiraban y que la nube de polvo se expandía. Nada más natural y espontáneo que seguir la expansión en sentido inverso, hacia el pasado, e imaginar la nube de polvo emergiendo de una explosión de su núcleo. Esa explosión fue la creación.

Pero ¿qué fue lo que se creó? ¿Qué es lo que se expande? ¿Las galaxias que se desparraman por el espacio? Mas, entonces, ¿qué es el espacio? ¿Qué ocupa? ¿De dónde procede? ¿Se expande también el espacio? ¿Fue el espacio lo único que se creó? ¿En qué se expande el espacio?

Advertimos, o al menos así lo creemos, que el universo no es sólo espacio. Al menos nosotros estamos en él, y hay otra materia. En una comprensión de la naturaleza del mundo se ha de dar cabida a los átomos y (en un sentido general) a los elefantes, y (con cierta cautela) al espíritu. De una u otra forma, se tuvo que crear la materia a partir de algo parecido a la nada. Afortunadamente, sin embargo, nuestras exigencias de complejidad en la creación original han disminuido a medida que la investigación científica ha ido pelando las capas de la cebolla a la que nos referimos con el término *la estructura de la materia*. Ya no tenemos que explicar la formación de elefantes, con toda su complejidad interna. El problema es ahora la formación de los componentes de los átomos.

Sabemos que existen los átomos porque podemos verlos. Versiones sofisticadas de microscopios nos ofrecen imágenes de átomos y nos permiten fotografiar moléculas. Podemos romper átomos libres y echar una mirada a su interior.

Los átomos son muy grandes; han de serlo, ya que es mucho lo que encierran en su interior. Bien es verdad que solemos pensar que son muy pequeños; pero es sólo porque nosotros somos muy grandes (casi por la misma ra-

El diámetro de un átomo es del orden de 2×10^{-10} m. Esta dimensión está regida por la intensidad de la interacción electrostática entre el núcleo y los electrones que lo envuelven. La intensidad está regida por una constante fundamental llamada α. Su valor aproximado es 1/137. El diámetro de un átomo es inversamente proporcional a α, de manera que si, por ejemplo, tuviera un valor doble del actual, nosotros tendríamos sólo la mitad de nuestro tamaño, seríamos ocho veces más densos y vivaces.[15]

Schrödinger[16] discute en términos generales y de un modo un tanto simplificado el número de átomos necesario para que resulte una criatura compleja.

Freeman Dyson ha compendiado la velocidad de la evolución de esta forma: "Contemplando la historia pasada de la vida, vemos que tarda unos 10^6 años en desarrollar una nueva especie, 10^7 años en desarrollar un género, 10^8 años en desarrollar una clase, 10^9 años en desarrollar un filum y menos de 10^{10} años en recorrer todo el camino desde el lodo primigenio hasta el *Homo sapiens*".[17]

Siendo todo lo demás igual (y en concreto siendo la temperatura del medio independiente de α), si α hubiera sido un uno por ciento mayor de lo que es, entonces el hombre hubiera tardado el doble en desarrollarse. Si α tuviera un valor doble del que tiene ahora, el hombre en lugar de tardar 10^{10} años en desarrollarse hubiera necesitado 10^{62} años, que es un tiempo muchísimo mayor que la edad actual del universo (10^{10} años). Las fuerzas que actúan en el interior del núcleo son unas cien veces más intensas que la fuerza electrostática, y los cambios que hubieran ocurrido serían insignificantes excepto en las regiones en las que la temperatura es extremadamente alta, como en los centros de las explosiones nucleares y en el interior de las estrellas. Las consecuencias del cambio de valor de α son numerosas y nos encontraremos con algunas otras más adelante.[18]

zón). Nos podemos formar una idea de lo grande que es un átomo imaginando que se expande hasta que el tamaño del núcleo sea el de un hombre; en ese caso, el átomo sería una sutil calina de electrones que se extenderían por una esfera de unos 100 km de radio.

El que las partes exteriores de los átomos estén difusas muestra el débil control que el núcleo central ejerce sobre los electrones que lo rodean. Esta debilidad es la base de la riqueza de la vida. Significa que se puede desalojar a los átomos de las moléculas con sólo una moderada persuasión, y que se pueden desarrollar nuevas disposiciones de átomos a partir de las anteriores. A causa de esta debilidad, las estructuras no están congeladas en formaciones inmutables, sino que pueden responder a sus entornos. Hay cierta capacidad de respuesta en las estructuras un tanto relajadas de átomos y moléculas, y puede darse un cambio cuando el ambiente los espolea moderadamente. Si las estructuras hubieran sido más firmes, la única forma de conseguir un cambio habría sido por medio de arremetidas como las de las explosiones nucleares, y no habría podido aparecer ninguna de las sutilezas de la percepción y del conocimiento. La evolución hubiera sido tan destructiva en ese caso como constructiva es ahora. La fragilidad de la estructura molecular, al tiempo que permite a la materia responder a las demandas moderadas de su medio ambiente y desarrollarse con sutileza adquiriendo complejidad, sigue contribuyendo a la complejidad cultural de la especie. Mientras las moléculas del organismo pueden responder a las influencias de sus entornos, el organismo puede observar. Consecuencias de esas observaciones son las percepciones y las invenciones de la mente que, a su vez, son manifestaciones de sustituciones de átomos y modulaciones de la estructura molecular en el cerebro.

La sensibilidad de respuesta tiene la desventaja de la transitoriedad. Pequeñas desviaciones de los límites bastan para matar. El calor que calentaba puede, traspasado un umbral, quemar y abrasar. Por eso es tan fácil morir.

Ver el libro de J. C. Polkinghorne[19] para una exposición de la física moderna de partículas con los pies en el suelo. El autor lo escribió en una época en que abandonaba una cátedra de física matemática para entrar a formar parte del presbiterado anglicano. El libro ya mencionado de Nigel Calder[7] es una introducción algo más fácil, admirablemente escrito y con mucha imaginación. En particular, es excelente su exposición de la naturaleza de las fuerzas y de la función de partículas cada vez más elementales.

Ha de haber algún tipo de estructura interna que permita diferenciar las muchas clases de quarks que se han identificado. Una de las cosas que hemos de hacer en lo que sigue es identificar algún tipo de componente primitiva. Algo de esto aparecerá en las páginas siguientes. Estas observaciones no excluyen la posibilidad de que las verdaderas entidades últimas se organicen en grupos más primitivos que su agrupación en quarks y que, por consiguiente, los propios quarks puedan tener algún tipo de estructura interna aunque carezcan de extensión espacial.

Mientras las partes exteriores de los átomos son zonas regidas por fuerzas moderadas, la existencia de un núcleo muestra que hay fuerzas más potentes que actúan en el corazón del átomo. Sólo una fuerza mucho más potente puede mantener unidos los componentes del núcleo en un denso paquete. Por eso el cambio nuclear es energética y económicamente más vigoroso que el químico, y por esa razón el tímido tanteo de los alquimistas no llegó a transmutar los elementos.

La potente fuerza que mantiene unido al núcleo debe de tener un radio de acción muy corto, pues de lo contrario el universo entero se habría enrollado ya en una única gota. Además, aunque la fuerza mantiene el control sobre los pequeños núcleos de átomos ligeros, sin embargo, en el caso del uranio, con unas doscientas partículas en su interior, pierde el control y el núcleo tiende a desintegrarse. El que lo haga de forma controlada o no controlada determina el nivel de benevolencia social del resultado.

Los elefantes tienen una estructura más profunda: la corporación de sus moléculas. Las moléculas tienen una estructura más profunda: el débil enlace de sus átomos. Los átomos tienen una estructura más profunda: una nube de electrones y en el corazón un núcleo. Los núcleos tienen una estructura más profunda: el cúmulo de protones y neutrones fuertemente unidos unos con otros. ¿Es infinita la cebolla?

Parece que no. Se conoce un estrato más, y lo encontrará cuando trate de desintegrar protones libres. Resulta que no puede (lo cual ya es significativo), pero sí puede distinguir en su interior a sus componentes, los quarks. Al igual que los electrones, parece que los quarks no tienen extensión espacial y que carecen de una estructura más profunda; tienen características sin tener extensión, y son sustancias sin encerrar nada en su interior. Nos debemos hallar al borde de la simplicidad última, casi al final de la cebolla, pues todo lo que está dotado de estructura es demasiado complicado para ser considerado extre-

Hay dos clases de nombres. En una se incluyen términos que nos dan la impresión de que sabemos lo que significan: pienso en conceptos con los que estamos "familiarizados", como, por ejemplo, *carga eléctrica*. Todo el mundo sabe lo que se quiere dar a entender con el término *carga eléctrica* (mientras no se le pida que lo explique). La otra incluye términos que al punto acogemos como poco familiares; por ironías del destino se les han asignado nombres familiares y hasta caseros, tales como *color, sabor, extrañeza* y *encanto*. Hay quien pone reparos a esta nomenclatura pintoresca, pero es pertinente en un doble sentido. Primero, porque es divertida, algo que no es impropio de la ciencia. Segundo, porque tales nombres indican con claridad el hecho de que son palabras cifradas que necesitan una aclaración algo más amplia.

madamente simple. La complejidad, incluso las más rudimentarias (como la extensión en el espacio), debe ser un atributo de simplicidades combinadas y no algo que pueda emerger tal cual, acabado del todo.

Creo que debemos hacer una pausa y evaluar nuestra posición. La receta para el universo está en la línea de la simplicidad. Parece que necesitamos quarks, electrones, quizás unas pocas cosas más, y una variedad de fuerzas para mantenerlo todo unido con diversos grados de rigidez. Sin embargo, la receta sigue siendo aún supercomplicada e insuficiente. Es supercomplicada porque requiere la especificación y creación de, al menos, media docena de atributos del universo; lo cual no es precisamente lo que se dice una simplicidad extraordinaria. Además, incluso su aparente simplicidad es engañosa porque tras los nombres esconde complicaciones. Sólo cuando sabemos lo que en verdad representan palabras como *fuerza, electrón*, etc., podemos hablar de verdadera comprensión. Los nombres son códigos; no habríamos de tolerar que el uso frecuente que de ellos hacemos se disfrace de intelección.

El camino por recorrer es patente. Hemos de examinar el significado de los conceptos habituales y simples que se han deslizado en la exposición y que solemos tomar como naturalmente evidentes. Haré ver que la mayoría de las palabras carecen de significado al nivel más profundo de comprensión y que han adquirido un significado aparente para etiquetar fenómenos y facilitar la conversación. Intentaré mostrar que se puede dejar que se esfumen la mayoría de los conceptos que a primera vista parecen cruciales para comprender el funcionamiento del mundo. Una vez desaparecidos, dejarán tras sí aquello que podríamos considerar genuino y útil: es decir, virtualmente nada.

Primera orientación

Estamos en una expedición para descubrir tanto la naturaleza última del universo como también la manera en que empezó a existir. Sostengo que la estructura última ha de ser de extrema simplicidad, y que la complejidad y riqueza percibidas han de ser resultado de cosas primitivas que se agrupan. Sostengo también que sólo las cosas muy simples podrían empezar a existir en la creación y que, por consiguiente, el trabajo de cualquier creador fue suave. Mantengo que la única forma de explicar la creación es mostrar que el creador no tiene absolutamente ningún trabajo que hacer, y que, por tanto, podría muy bien no haber existido. Podemos remontarnos hasta descubrir al creador infinitamente perezoso, al creador exonerado de todo esfuerzo de crear, resolviendo las aparentes complejidades en simplicidades; y espero encontrar un modo de expresar, al término de la expedición, cómo se puede dejar que se esfume y desaparezca de la escena un creador inexistente.

Para prestar atención a los puntos de vista ordinarios y para mostrar cómo la aparente complejidad es, en último término, simplicidad organizada, nos ocuparemos ahora de las causas del cambio. Haré ver que todas las formas de cambio, desde las rudimentarias (como enfriar) a las extremadamente complejas (como la formación de opiniones), son erupciones, en el mundo percibido, de los mismos eventos primitivos. Veremos que todos los eventos que acaecen en nosotros y a nuestro alrededor tienen la misma motivación: un colapso hacia el caos, sin objetivo ni propósito alguno.

II. POR QUÉ CAMBIAN LAS COSAS

El cambio se presenta bajo una gran variedad de formas. Hay cambios simples, como cuando se para una pelota que rebota, o se funde el hielo. Hay cambios más complejos, como, por ejemplo, los que se dan en la digestión, el crecimiento, la reproducción y la muerte. Existen también cambios que parecen ser sumamente sutiles, como los que se presentan en la formación de opiniones y en la creación y rechazo de ideas. Aunque diverso en sus manifestaciones, el cambio tiene, en realidad, una fuente común. Como todo lo fundamental, esta fuente es enteramente simple.

Un cambio organizado, el montaje de un fin, como, por ejemplo, un cazo, una cosecha o una opinión, está producido por los mismos eventos que hacen parar las pelotas que rebotan y que funden el hielo. Voy a probar que en la base de todo cambio se halla cierto colapso hacia el caos. Veremos que lo que a nosotros se nos muestra como motivo y finalidad es, de hecho, una degradación que en última instancia carece de motivos y de objetivo alguno. Las aspiraciones y sus realizaciones se alimentan de decadencia.

¿Cualidad? ¿Qué es la cualidad? Es un término introducido por Freeman Dyson.[20] Por ahora, consideremos a la energía localizada como energía con capacidad de ser gobernada para producir un trabajo, y que, por consiguiente, tiene, en cierto sentido, una "cualidad alta". El trabajo implica un movimiento ordenado; el calor implica un movimiento al azar. En el curso de cualquier cambio, una energía muy localizada se dispersa algo (poco o mucho), y ya no estamos en disposición de señalar una localización precisa. Dyson establece (p. 52) un "orden de méritos" entre formas distintas de energía. La energía gravitacional encabeza la lista, y es la de más alta cualidad. Cierra la lista la radiación cósmica de microondas. Esta última constituye el límite último de la degradación calorífica y parece que no hay forma de que esta energía se siga degradando.

El concepto de *entropía*[14] está en la base de este capítulo. Es el mundo de la segunda ley de la termodinámica y figura en cualquier exposición de la base molecular de la termodinámica. La segunda ley de la termodinámica, un compendio de la experiencia en torno a la dirección del cambio, es consistente con la indicación de que la entropía del mundo aumenta siempre que se da un cambio. Y, a su vez, es consistente con la indicación de que aumenta el número de formas de dispersar la energía aprovechable.

La estructura profunda del cambio es la decadencia o degradación. Lo que va a menos no es la cantidad sino la *cualidad* de la energía. Explicaré más adelante qué se entiende por energía de alta cualidad, pero por el momento baste decir que es una energía que está localizada y que es capaz de producir cambios. Mientras produce un cambio se expande, se distribuye caóticamente como un castillo de naipes que se derrumba, y pierde su potencia inicial. Al expandirse en el caos se degrada la cualidad de la energía pero no su cantidad.

Generar decadencia es algo que sucede no sólo en las civilizaciones sino también en todos los eventos del mundo y del lejano universo. Explica todos los cambios discernibles, tanto animados como inanimados. La cualidad de la energía es como una espiral que se va desenrollando lentamente.

La cualidad decrece espontáneamente y la espiral del universo se desenrolla. La cualidad se degrada espontáneamente y la espontaneidad de la degradación dirige los procesos interdependientes tejidos en torno a nosotros y en nuestro interior, como a través de los engranajes entrelazados de una máquina compleja. Es tal la complejidad de la interconexión, que aquí y allá el caos puede retroceder y resplandecer la cualidad por breve tiempo, como cuando se construyen catedrales y se componen sinfonías. Pero son decepciones y engaños que se presentan en un espacio y tiempo limitados, ya que en el amplio mundo la espiral se despliega inexorablemente. La decadencia o degradación lo rige todo. Todo está regido por una decadencia sin motivo ni objetivo alguno.

Como hemos dicho, con el término *cualidad* de la energía nos referimos a la extensión de su dispersión. La cualidad alta, la energía útil, es una energía localizada. La cualidad baja, la energía consumida, es una energía caóticamente distribuida en todas direcciones. Cuando la energía está localizada se puede llegar a hacer cosas; pero la energía pierde su potencialidad de producir cambios cuando se

Puede comprenderse la forma en que los empujones al azar llevan al cambio irreversible comparándolos con un paseo a la buena de Dios. Una versión simplificada podría ser ésta. Imagínese un objeto que es igualmente libre para dar un paso a la derecha que a la izquierda. Aunque puede que no estemos en condiciones de observar la dirección tomada por una partícula individual en cada uno de los pasos, al menos podemos predecir la probabilidad de encontrar a una partícula a determinada distancia de su origen después de que haya tenido tiempo de dar un determinado número de pasos. Si pensamos en un montón de objetos inicialmente apilados todos ellos en una posición determinada, entonces, puesto que todos están continuamente yendo, al azar, a la derecha o a la izquierda, tras cierto tiempo se encontrará a alguno de ellos a una gran distancia (por ejemplo, es posible, si bien muy poco probable, que un objeto tome siempre el camino de la derecha), mientras a la mayoría se los encontrará cerca del origen. El máximo de población en el origen no cesa de dispersarse a medida que trascurre el tiempo, y la probabilidad de volver a encontrar reunidos a todos los componentes del primer montón en su pila original es despreciable (si bien es realmente posible). Por tanto, estamos ante un cambio irreversible por obra del paseo casual. Se pueden examinar ampliaciones de esta idea simple en múltiples elaboraciones complicadas.[21, 22]

ha dispersado. La degradación de la cualidad es dispersión caótica.

Probaré a continuación que tal dispersión es, en último término, natural y no planificada. Tiene lugar de forma natural y espontánea, y, cuando sucede, produce un cambio. Cuando se la acelera, destruye. Cuando se pone en marcha a través de cadenas de eventos, puede producir civilizaciones.

Se puede entender el carácter natural de la tendencia de la energía a expandirse imaginando una multitud de átomos que se empujan. La energía localizada, la energía en una zona circunscrita, corresponde a un movimiento vigoroso en un extremo de la multitud. Al empujar, los átomos echan mano de su energía y hacen que sus vecinos empujen también, y pronto se dispersa el empujón como el orden de un juego de cartas bien barajadas. Hay muy poca probabilidad de que el extremo original de la multitud vuelva a verse empujado hasta su actividad originaria, estando todos los demás en reposo. El empujar azaroso y sin plan ha ido a dar en un cambio irreversible.

Esta tendencia natural a dispersarse explica procesos simples tales como enfriar o calentar un metal. La energía del lingote, una energía capturada en las fuertes vibraciones de sus átomos, es empujada hacia los que le rodean. Los empellones individuales pueden tener como resultado que la energía pase en ambas direcciones; pero el número de átomos fuera del lingote es tan superior al de éste que es mucho más probable que, al final, la energía del lingote se haya dispersado (o perdido).

El modelo conserva la ilusión de suponer una finalidad. Podemos pensar que hay razones de que suceda un cambio y no otro. Podemos pensar que hay razones para que se den cambios determinados en la ubicación de una energía (por ejemplo, un cambio de estructura, como cuando rompe una flor); pero en el fondo todo lo que hay es degradación por dispersión.

Supongamos que en una zona hay muchos más lugares

Se puede considerar que la energía se presenta en paquetes, "cuantos", y que se acumula en los diversos tipos de movimiento de las moléculas y en la forma en que se disponen sus átomos.[15] El que una molécula, o grupo de moléculas, pueda o no acumular gran cantidad de energía depende de su constitución. Se puede considerar a una molécula compleja como un laberinto de energía: tiene tantos modos de fijar energía, que cabe imaginar a ésta como si estuviese empujando por mucho tiempo en todas direcciones en el interior de la molécula antes de que logre escapar fuera. Por consiguiente, si hay energía empujando al azar desde fuera parecerá que queda atrapada dentro de la molécula. Sin embargo, la energía está dispersa, y es tan grande el número de lugares en los que se la puede encontrar dentro de la molécula, que da la impresión de que prefiere quedarse allí en vez de en otras partes.

Todo cambio natural corresponde a un aumento de entropía, y la base subyacente de la aparente irreversibilidad de la historia del universo[22, 23] es la suma improbabilidad de que la energía, los átomos y las moléculas vuelvan a sus localizaciones y configuraciones anteriores.

para acumular energía que en otras zonas. En ese caso los empujones y saltos al azar se acumularán allí. Si la energía empezó en un cúmulo organizado inicialmente en cualquier otro lugar, con el tiempo se hallará en un cúmulo en la zona donde las plataformas son más densas. Un observador casual se admirará de que la energía elija ir a ese lugar, llegará a la conclusión de que debe haber habido una intención o propósito, y tratará de descubrirlo. Sin embargo, nosotros podemos ver que no se debe confundir acabar por estar allí con elegir ir a ese lugar.

Los cambios de lugar, de estado, de composición y de opinión son todos ellos, en el fondo, dispersiones. Pero si esta dispersión desparrama energía en zonas donde se puede localizar densamente, entonces produce más bien la ilusión de un cambio específico y determinado y no de una mera dispersión. En el nivel más profundo desaparece el plan o intención y su lugar lo ocupan las consecuencias de tener la oportunidad de explorar al azar, de descubrir lugares densos y de detenerse allí hasta que aparezcan nuevas oportunidades de explorar.

Los eventos son las manifestaciones de unas probabilidades que se cumplen. Todos los eventos de la naturaleza, desde el rebote de las pelotas hasta la concepción de dioses, son aspectos y elaboraciones de esta sencilla y simple idea. Pero no deberíamos dejar pasar sin más la palabra *probabilidad*. La energía podría saltar, por azar, precisamente a su cúmulo originario y volver a formar su estructura. La energía podría recorrer, por azar, en sentido inverso su camino al lingote desde todo el universo, y un observador podría ver que un lingote frío se calienta espontáneamente o que un castillo de naipes se vuelve a levantar solo. Estas posibilidades son tan remotas que las desechamos como totalmente improbables. Con todo, aunque improbables, no son imposibles.

La simplicidad última que está a la base de la tendencia al cambio se encubre con más eficacia en unos procesos que en otros. Mientras es fácil explicar el enfriamiento

Tomemos como ejemplo de una reacción química directa la combustión de un pedazo de carbón. En su aspecto más simple, la reacción es la combinación de los átomos de carbono del carbón con las moléculas de oxígeno del aire para formar dióxido de carbono (CO_2). La reacción libera una considerable cantidad de energía. Cuando un par de átomos de oxígeno y un átomo de carbono se disponen de forma que aproximadamente corresponde a una molécula de CO_2, liberan energía en forma de fuertes vibraciones. Esta energía vibracional se disipa muy rápidamente tan pronto como los átomos del pedazo de carbón entran ellos mismos en vibración y la energía se difunde en el pedazo y fuera de él a partir del lugar de la reacción. Los átomos de carbono y de oxígeno quedan atrapados en una molécula de CO_2. El dióxido de carbono no se transforma espontáneamente en una capa de hollín y en una nube de oxígeno porque, aunque el proceso inverso al que acabamos de describir *puede* ocurrir, la probabilidad de que suceda es muy pequeña y va disminuyendo progresivamente. Esto es así porque para que se forme hollín a partir del dióxido de carbono se ha de localizar en la molécula energía proveniente del entorno; pero es muy poco probable que espontánea y simultáneamente se acumule la suficiente energía en la diminuta molécula de CO_2.[24]

como una dispersión natural que avanza, otros procesos (como la evolución, la voluntad libre, la ambición política y el estado de guerra) tienen su simplicidad intrínseca enterrada a mucha más profundidad. Sin embargo, aunque puede que esté oculta, la degradación es la fuente y el origen de toda creación, y todas y cada una de las acciones son una consecuencia más o menos remota de la tendencia natural a la corrupción.

La tendencia de la energía al caos se transforma en amor o guerra por mediación de reacciones químicas. Todas las acciones son cadenas de reacciones. Desde el pensar algo hasta el realizarlo, en el mero pensar o en el contestar, el mecanismo que actúa es una reacción química.

En su forma más rudimentaria, una reacción química es una nueva ordenación de átomos. Los átomos en un determinado orden constituyen una especie determinada de moléculas, y los átomos en otro orden, con adiciones quizás o supresiones, constituyen otra. En unas reacciones una molécula sólo cambia su configuración; en algunas, una molécula se apropia los átomos que otra le suministra, los incorpora y logra una estructura más compleja. En otras, una molécula compleja es engullida, bien en su totalidad, bien en parte, y se convierte en fuente de átomos para otra molécula.

Las moléculas no tienen ninguna inclinación a reaccionar ni a permanecer sin reaccionar. No hay, por supuesto, nada semejante a un motivo o plan en este nivel de comportamiento. ¿Por qué, pues, se dan reacciones? A este nivel tampoco puede haber, pues, motivo u objetivo alguno en el amor o la guerra. ¿Por qué, pues, ocurren?

Tiende a darse una reacción si en el proceso la energía se degrada a otra forma más dispersa, más caótica. Toda disposición de átomos, toda molécula está constantemente sometida a la tendencia a perder energía en la medida en que al empujar la transmite a lo que le rodea. Si sucede por azar que un cúmulo de átomos pasa a una disposición que corresponde a una nueva molécula, esta disposición transi-

Al afirmar que la energía posee la clave de su propia degradación, estoy pensando en la *energía de activación* de las reacciones.[24] Una reacción química puede tener lugar si se cumplen dos condiciones. La primera, que entren en contacto las especies reactivas; la segunda, que, cuando esto suceda, posean la suficiente energía, la "energía de activación", para sobrellevar la reacción. La probabilidad de que de hecho posean al menos esa cantidad de energía viene dada por una fórmula conocida como la *distribución de Boltzmann*. Esta fórmula es una consecuencia probabilística derivada de suponer que la energía se distribuye al azar entre todos los modos de movimiento disponibles. La energía de activación estabiliza las formas porque la expresión de Boltzmann otorga un valor muy bajo a la probabilidad de que las moléculas tengan la energía suficiente para reaccionar a la temperatura normal.

toria puede súbitamente congelarse en una permanente tan pronto como se escapa la energía liberada. Las reacciones químicas son transformaciones debidas al infortunio.

La estructuración de los átomos en moléculas es un tanto relajada, y son corrientes las exploraciones de nuevas disposiciones que acaban en una reacción. A ello se debe, en parte, que el conocimiento y la conciencia hayan emergido ya, a partir de la materia inanimada de la creación originaria. Si los átomos hubieran estado tan fuertemente ligados como los núcleos, la forma primitiva inicial de la materia habría quedado firmemente fijada para siempre, y el universo habría muerto antes de despertar.

Con todo, la fragilidad de las moléculas suscita preguntas y problemas. ¿Por qué el universo no se ha colapsado ya en un lodo inerte? Si las moléculas fueran libres para reaccionar cada vez que entran en contacto con un vecino, el potencial de cambio del mundo se habría actualizado tiempo ha. Los eventos se habrían sucedido tan casual y rápidamente que los atributos preciosos del mundo, tales como la vida y su propia autoconciencia, no hubieran tenido tiempo de brotar y madurar.

La emergencia de la conciencia, como el despliegue de una hoja, depende de las restricciones. La riqueza del mundo percibido y la riqueza de los mundos imaginados de la literatura y el arte (el espíritu humano) es la consecuencia de un colapso controlado, no precipitado ni atropellado.

La misma energía posee la llave de su propia degradación. Las moléculas tienen la oportunidad de reaccionar cuando se encuentran, pero de hecho sólo lo hacen si sus átomos están lo bastante relajados como para pasar a nuevas ordenaciones y para exponerse a oportunidades de infortunio. Aunque frágiles, las moléculas no son lábiles.

Para poder explorar, los átomos de las moléculas han de tener cierta soltura marginal. Se sueltan si entra energía en la molécula y estimula la vibración, ya que una molécula que vibra con fuerza es un cúmulo relajado de átomos. Y ¿cómo entra la energía en la molécula? Por casualidad. La

Dyson describe en el artículo citado más arriba[20] otra forma de restricción a la degradación de la energía. Describe toda una serie de "dilaciones" u obstáculos a la degradación que detienen su acelerado colapso. Uno de ellos es la "retención del tamaño", que es la lentitud intrínseca del colapso de un objeto difuso que se mantiene unido a causa de la gravedad. Puesto que el universo es tan difuso (una media aproximada de un átomo por metro cúbico), tarda mucho tiempo en colapsarse (aproximadamente 10^{11} años). Otro obstáculo es la retención de giro, que resulta de la lentitud con la que se puede disipar el movimiento rotacional: a ella se debe, entre otros efectos, que los planetas giren en órbitas. Un tercer obstáculo es la "dilación termonuclear" que impide que las estrellas colapsen más allá de cierto punto mientras todo su hidrógeno no se haya consumido. Esta dilación le ha dado ya al Sol una vida de $4{,}5 \times 10^9$ años y una previsión de otros 5×10^9 en el futuro. En cuarto lugar se da la "dilación de la interacción débil", que impide que el Sol (y cualquier otra estrella) explote como una bomba. Dyson sigue enumerando otros obstáculos o retenciones; el artículo es muy sugerente (y aún hoy sigue mereciendo que se le lea).

Aunque una reacción química (o un proceso físico más directo) puede producir una disminución de la entropía del universo, y, por consiguiente, corresponde a un retroceso de la dispersión de la energía, con todo ésta puede aumentar si de algún modo dicha reacción está inserta en otra reacción que tiende a suceder naturalmente y que puede llevar *en el conjunto* a una dispersión neta de la energía. La formación y mantenimiento de organismos complejos se debe a las reacciones constructivas que están regidas por las reacciones que la ingestión de comida hace posibles.[25, 26]

energía puede avanzar, por azar, hacia ella y estar allí en el momento en el que las moléculas casualmente se encuentran. Por azar, un par de moléculas puede que se encuentren mientras están favorecidas con una dosis de energía superior a la normal. En ese caso sus átomos pueden vagar, y al vagar reaccionar.

Querría hacer una pausa en este punto para resumir la argumentación ofrecida hasta el momento. Hemos visto, al menos a nivel molecular, cómo el caos dirige y frena el mundo. El colapso en el caos produce el cambio, ya que todos los eventos naturales son resultado de la tendencia a la dispersión. El caos también estabiliza la forma, ya que es pequeña la posibilidad de que las moléculas sean favorecidas con la energía suficiente como para explorar las posibles disposiciones alternativas. El caos nos impulsa y nos frena: el caos es a un tiempo la zanahoria y el carro.

Si todo, tanto estructura como cambio, es el resultado de orquestaciones casuales del caos, habrá cadenas que enlacen lo superficial con lo profundo. Querría tratar de indicar su naturaleza, si no su forma detallada.

La evolución es una reacción por seducción. Las moléculas complejas pueden adquirir una complejidad aún mayor por pasos sucesivos en vez de esperar a una gran pasión. Una molécula puede ser capaz de deshacerse de unos pocos átomos en favor de una compañera con quien sintoniza, recoger otros en cualquier otra parte, y, andando el tiempo, encontrarse incidentalmente con un destino. En cada paso sólo ha de tener lugar una pequeña reorganización y, por tanto, sólo se requiere en cada paso un poco de libertad o relajación. Puesto que las afluencias y frecuencias de energía de valores pequeños tienen una mayor probabilidad de ocurrir que las de valores grandes, el proceso completo puede presentarse mucho antes que si tuviera que llegar la energía suficiente para que la reacción se diera de una sola vez. Ésta es una reacción por infortunio múltiple, una reacción por un plano inclinado resbaladizo. El que la reacción pueda o no continuar es fundamentalmente una

La base molecular de la replicación (en esencia, la química del ADN) ha sido descrita en muchos y variados lugares; tan grande ha sido el impacto que sobre la ciencia y el gran público ha producido el descubrimiento de la base molecular de la vida.[3, 27]

cuestión de logística, o de si se le proporcionan pequeñas moléculas en el momento oportuno en las comidas.

Se puede considerar todo el curso de la evolución como una disipación de energía en marcha y cooperante. Cada etapa de la evolución (incluyendo los pasos que dieron lugar a moléculas complejas a partir de otras simples, a gente a partir del lodo, y los procesos implicados al enfrentarse las especies a la competición) proviene y prosigue por disipación.

Las moléculas no pretenden la reproducción: tropiezan con ella. El aumento de complejidad alcanzó el punto en el que una molécula estaba de tal forma estructurada que la secuencia de reacciones por la que podía pasar, bajo la presión casual de la dispersión, llevó, por azar, a la formación de un duplicado. Esta molécula tenía, evidentemente, la misma capacidad de reproducirse, y, aunque la primera molécula pudiera haber quedado eliminada al evaporarse una charca, la hija podría continuar la línea. En cada nivel de replicación hubo oportunidad de modificación, ya que estaban cerca moléculas más pequeñas, ligeramente diferentes, que podían ser incorporadas. Muchas de estas hijas puede que fueran inviables o que tuvieran menos éxito en la replicación que sus antepasadas o hermanas; pero algunas tuvieron un éxito mayor y prosperaron hasta convertirse en elefantes.

Las percepciones del mundo externo se desarrollaron sutilmente con la evolución de la complejidad del cuerpo. Estas percepciones, como las decisiones de embarcarse en actividades o nuestras reflexiones sobre nuestras propias actividades o sobre las de otros, son todas ellas manifestaciones de reacciones. Nuestra interacción con el mundo externo se da cuando la brisa de los eventos afecta a grupos de átomos, particularmente sensibles, configurados en ojos y oídos.

Puesto que las reacciones son aspectos del caos, las percepciones, decisiones y reflexiones también están regidas, en última instancia, por una tendencia subyacente al caos.

Para dar una idea acerca de la complejidad de la construcción del cerebro[28, 29] hay que tener presente que se piensa (lo piensa el mismo cerebro humano; más adelante encontraremos más cosas sobre la autorreferencia) que el cerebro humano consta de unos 10^{11} neuronas. Una neurona normal tiene entre 1000 y 10 000 sinapsis (puntos de contacto) con otras neuronas.

La retina está formada por unos 3×10^6 conos (que tienen a su cargo la visión cromática) y unos 10^9 bastoncillos (que no distinguen colores). La notable finura del ojo (que, sólo en este planeta, se ha desarrollado independientemente una media docena de veces) se refleja en el hecho de que los bastoncillos pueden reaccionar ante un solo fotón de luz. Los dos rasgos significativos de la molécula de la antena de los bastoncillos son que está doblada en el centro y que absorbe luz de longitudes de onda similares a la del Sol (y por este motivo podemos ver de día). El suceso primario de la visión es que esta molécula absorbe un fotón (si se concentra sobre ella), la curvatura se endereza y se desenrolla hasta formar una vara más o menos recta.[3] Esta vara no encaja en el espacio disponible. El cambio de forma afecta a la capacidad de los iones de sodio y de potasio para atravesar la membrana del nervio que se halla en un extremo del bastoncillo. Vamos a ver muy pronto que la proporción de las concentraciones de estos iones es fundamental para la propagación de los impulsos nerviosos.

La aparente complejidad de la conciencia es el resultado de la complejidad de la interdependencia de las reacciones encaminadas a esta degradación, y no hay ninguna necesidad de considerarla como una complejidad intrínseca embellecida por un alma. La conducta es la organización compleja de procesos simples, y la compleja estructura del cerebro es la compleja caja de marchas que dispone la simplicidad en una aparente complejidad. La estructura garantiza que procesos químicos sencillos en el interior de las células del cerebro se coordinen en un todo, que es a un tiempo lo suficientemente complicado como para ser rico en propiedades y lo suficientemente impredecible como para envolver imaginación e invención.

Fijémonos, por ejemplo, en la percepción. En esencia, consiste en adquirir información acerca de acontecimientos externos al cerebro del portador y de acontecimientos no del todo externos, como el dolor. Los cuerpos disponen de antenas (terminaciones nerviosas) que responden a su medio ambiente y captan información. Estos sensores, agrupados en cosas como ojos, envían señales al cerebro. En la visión, por ejemplo, una molécula del ojo es golpeada por la luz, se despliega y deja de encajar en su ranura original. La luz aporta energía que libera a los átomos. Los átomos deambulan y en el curso de este deambular se escapa su energía. La molécula queda congelada en esta nueva forma que ahora resulta incompatible. La expulsión de la molécula de su agujero permite que otra molécula cambie su forma, lo cual desencadena otra reacción. Esta reacción provoca un impulso de corriente a lo largo del nervio que va hasta el mismo cerebro. El nervio se ramifica, el impulso se desparrama por una multitud de células del cerebro, y en cada una de ellas su llegada tiene como resultado una modificación química. Las constituciones de las células determinan cómo responden a los futuros impulsos, y si envían nuevos impulsos por unos canales o por otros. Y, andando el tiempo, pero quizá no durante la misma década, la percepción de un acontecimiento influye en un hecho.

Los axones de las células nerviosas (a lo largo de los cuales corren los impulsos nerviosos) están inmersos en un fluido rico en iones de sodio; el fluido interno es rico en potasio.[30, 31] A causa de este desequilibrio de concentraciones hay una diferencia de potencial eléctrico entre el interior y el exterior de la célula nerviosa. Cuando los canales de la membrana se abren como las compuertas de una esclusa y dejan que entren los iones de sodio, aparece el impulso nervioso. Después estos canales se cierran y se abren otros. Por éstos salen los iones de potasio, con lo que se restaura el voltaje original, pero a expensas de perder las diferencias originales de las concentraciones de sodio y potasio. La punta del voltaje cambiante avanza a lo largo del nervio y penetra en la sinapsis. Allí, las moléculas de un trasmisor químico, almacenadas en bolsas, se desprenden pasando a la neurona siguiente. Estos compuestos químicos o bien pueden aumentar la probabilidad de que la neurona provoque un impulso a través de sus conexiones con otras células, o bien pueden disminuirla. Ésta es la compleja interacción de las funciones de conexión en el interior del cerebro; todo es químico y todo se mueve en la dirección del aumento de entropía.

Cada proceso de esta cadena se trasmite de estrato en estrato por la acción, carente de plan, de la dispersión caótica. La luz relaja la molécula que entonces se desenrolla por infortunio. La molécula es expulsada porque tiene libertad para deambular y energía que perder. Una reacción tiene lugar cuando la expulsión de la molécula posibilita a la que queda explorar nuevas ordenaciones. El impulso eléctrico es impelido a lo largo del nervio por una secuencia de reacciones, cada una de las cuales ha sido desencadenada por su vecina, y cada desencadenamiento permite a las moléculas pasar a nuevas disposiciones. Las reacciones químicas en la ramificación de las células nerviosas del cerebro se desencadenan de modo semejante; así se realiza el despliegue de la corriente tal como circula durante años por el cerebro. Todos los procesos de la secuencia, hasta incluir el hecho subsiguiente y sobrepasarlo, prosiguen gracias al caos que ellos liberan. Que a continuación riamos o gritemos, o, andando el tiempo, amemos, argumentemos o nos desesperemos, viene determinado por la larga y compleja historia de unos acontecimientos, todos ellos regidos por la dispersión.

Me sorprende que, incluso en nuestros días, a algunos les parezca que la riqueza de las propiedades del cerebro (propiedades tales como percibir, recordar, actuar, decidir e inventar) no han podido emerger por sí mismas, o que tal riqueza no puede ser el despliegue externo de una ausencia de planificación interna. Tan importante es ver, tras la ilusión de complejidad, la simplicidad subyacente. Evidentemente, podría ser que no estuviéramos en disposición de rastrear todos y cada uno de los pasos simples que constituyen una percepción o una opinión, o los que preceden a una acción o la producen; pero en el fondo no hay ninguna duda de que están allí. No quisiera, sin embargo, que se pensara que esta postura elimina la admiración por la vida: sin embargo, sí que reorientaría esa admiración. Lo que hay de admiración no habría de ponerse, en mi opinión, en la benevolencia y sutileza de una intervención exterior,

Hemos de incorporar materiales que sufran reacciones que liberen tanta entropía que puedan reconducir las reacciones en las células del cuerpo a su estado inicial, dispuestas a volver a reaccionar la próxima vez que puedan. Por lo que al sistema nervioso concierne, el agente principal es la *bomba de sodio*.[30] Hemos visto que el paso de un impulso nervioso deja al nervio con una distribución exhausta de concentraciones de ion de sodio y de potasio. Se consigue la recuperación por medio de la bomba de sodio, que es una molécula proteica inserta en la pared del nervio. Cada bomba utiliza la energía disponible de una molécula de ATP (adenosintrifosfato), una molécula de gran importancia en las reacciones que tienen que ver con el suministro de energía biológica. Cuando funciona a pleno rendimiento, cada bomba puede cambiar unos 200 iones de sodio y unos 130 iones de potasio por segundo. La distribución de bombas a lo largo del nervio restaura la diferencia de concentración inicial y lo dispone a trasmitir el siguiente impulso en cuanto la cabeza del cuerpo de la célula haya acumulado el suficiente cambio de composición como para inducirle a excitarse de nuevo.

pues ello conduce a la intrusión innecesaria de un espíritu y a la invención de un alma. En su lugar, habríamos de admirarnos de que la actualización de la simplicidad subyacente pueda tener tan gloriosas manifestaciones cuando es cuidadosamente coordinada, y que tal coordinación puede crecer por la selección de la evolución. La única alma inmortal que tiene el hombre es la impresión duradera que produce en la mente de otros hombres.

No vemos una cosa y nos morimos. Hay que repostar al cuerpo para que responda de nuevo, y los nervios han de estar preparados para volver a trasmitir. Todo paso en la percepción y en la acción es una reacción, y toda reacción puede deshacerse. Se ha de suministrar un reactivo adecuado que tenga la energía para posibilitar aún otra exploración incidental de disposiciones y para inducir a las moléculas a re-formar sus estructuras anteriores. En otras palabras, hemos de comer.

Hemos visto que tanto la percepción como la acción están producidas por la tendencia de la energía al caos. Ambas degradan la cualidad de la energía en el universo, y ambas implican, en último término, una corrupción de la energía. Al comer importamos de nuestro entorno energía de más alta cualidad, y recargamos nuestros cuerpos dejando que se disperse por nuestras células, donde está lista para la siguiente degradación, por ejemplo un acto de percepción, de acción o invención. Toda acción es corrupción; y toda restauración contribuye a la degradación.

En el nivel más profundo, las decisiones son acoplamientos de las disposiciones de átomos en las moléculas en el interior de un gran número de células del cerebro. Las razones subyacentes de estos cambios son las mismas que las de cualquier otro proceso. Los átomos no tienen ningún deseo de moverse, pero, si se presenta una oportunidad, exploran, con el riesgo de ser atrapados cuando la energía se desparrama por el mundo y se disipa. Todo cambio en la constitución de las moléculas y en su interconexión es causado, en el fondo, por una disposición natural al caos. Que

Se puede investigar el proceso de aprendizaje a nivel microscópico en términos del modo en que las sinapsis del cerebro son modificadas por la propia actividad cerebral.[28] La emergencia al mundo de los procesos subyacentes en términos de acciones y emociones se describe en una gran variedad de obras.[29, 32, 33] Contamos[34] con experimentos y análisis detallados sobre microsistemas de neuronas responsables de la actividad de la retracción de la branquia (una acción a la que me refiero por la simple razón de que ha sido estudiada). El rasgo extraordinario de este tipo de trabajo (en un caracol) es que el sistema neuronal estudiado es tan simple que se puede desmenuzar como se hace con los elementos de una computadora, y analizar la función de los elementos individuales y su diagrama de circuito exactamente igual que cualquier red de conexiones e interruptores.

Empezamos (hacia los diez años) con unas 10^{11} neuronas. Cuando mueren (lo cual sucede cuando por alguna razón dejan de reaccionar) no las renovamos. Se dice que cada copita de whisky elimina 5000 neuronas además de las 50 000 que morirán ese día.

esta actividad no-motivada, sin objetivo y sin mente, haga su aparición en el mundo como motivo y objetivo y constituya una mente se debe por entero a la complejidad de su organización. Igual que las sinfonías son, en última instancia, movimientos coordinados de átomos, así la conciencia emerge del caos.

Las decisiones se toman sobre la base de la predisposición del cerebro. La manera en que el caos hace su aparición en el mundo para tomar el nombre de acción depende del estado de preparación de sus células. Las consecuencias del cambio de estado de una sola célula dependen del estado existente ya en las células con las que está en contacto. De ese modo la totalidad de nuestra historia personal, que dura tanto cuanto sobreviven nuestras células, canaliza las ramificaciones del caos. Que las células conecten la actividad del cerebro a unas células y no a otras, y que en el proceso resulten de tal manera modificadas que los impulsos subsiguientes, que quizá vuelven de esas acabadas de estimular, se canalicen hacia cualquier otra parte, es algo que dispone con coherencia la complejidad de la organización, que se alimenta de caos.

La herencia, información genética trasmitida por reacciones, esboza la estructura del cerebro e impone un patrón de enlaces. La experiencia, la secuencia, que dura toda la vida, de reacciones que responden al influjo, modifica después incesantemente la red de enlaces y la desarrolla. La edad es la muerte de células y, consecuentemente, la pérdida de sutileza. La vejez es la decadencia de la finura de la organización del circuito y el consecuente fracaso del cerebro para coordinar el caos subyacente en algo brillante.

En la medida en que podemos restaurar nuestras células capturando energía no dispersa de alta calidad del mundo exterior, y trasfiriendo parte de ésta a nuestras células, en esa medida puede continuar nuestra complejidad. Una sombría pero honesta opinión es la que sostiene que vivir es, por tanto, una lucha (una lucha dirigida, en última

instancia, no por un plan sino por la dispersión) por descargar en el entorno energía de baja cualidad y por absorber de él energía de alta cualidad. En cierto sentido, corrompemos el mundo exterior para tener una vida interior. Lo que ha crecido por medio de la evolución, como un mecanismo engranado de dispersión, es la cadena de consunción: los hombres se comen a las vacas, las vacas comen hierba, la hierba se come las montañas y vive del sol. No hay ninguna necesidad de buscar un propósito o intención detrás de todo esto: la energía ha seguido dispersándose y resulta que la dispersión ha generado elefantes y cautivadoras opiniones.

Querría añadir una posdata. Lo que caracteriza al cerebro es que su respuesta a lo que le rodea está, hasta cierto punto, bajo su control. Puede sacar partido de unas oportunidades para escoger vías que conducen a su propia aniquilación, como en la desesperación o en la inclinación al martirio. O puede sacar partido de unas oportunidades para escoger vías que conducen a la actualización de su potencial, como en los actos de comprensión y creación. Estas inclinaciones son consecuencias del estado previo del cerebro, de su composición química al aparecer el pensamiento o la inclinación y traducirse en acción. La voluntad libre es sencillamente la capacidad de decidir, y la capacidad de decidir no es más que la interacción organizada de cambios de átomos que responden a libertad cuando el azar los dota, primero, de energía para explorar, y después los atrapa en nuevas disposiciones cuando su energía se desparrama espontánea y azarosamente. Hasta la libre voluntad es, en última instancia, corrupción.

Segunda orientación

Hemos visto que todos los cambios se deben a la dispersión natural de la energía, a su colapso espontáneo en el caos. Se puede rastrear y reseguir la riqueza del mundo, la aparición en él del arte y los artefactos, de opiniones y teorías, hasta el nivel en el que se puede ver que dicha riqueza es tan sólo el ensamblaje de pasos hacia la dispersión. Los actos de creación son disminuciones temporales y locales del caos, pero cada disminución va acompañada de una tormenta mayor de caos en otra parte. Todo cambio, el cambio en todas sus formas, es el resultado de un complejo entramado de interconexiones que resulta que canalizan el despliegue del universo en eventos discernibles. Por debajo de opiniones y hechos no hay nada que explicar sino tan sólo el despliegue de la malla de conexiones que transforma lo natural y comprensible en lo inesperado e imaginativo. En último término, sólo hay caos; no intención ni plan.

Buscamos ahora la naturaleza del último empujón, e investigamos qué gobierna los lugares adonde van los átomos y salta la energía en el despliegue universal interconexionado. Trataré de identificar qué es lo que determina el movimiento de las cosas elementales individuales, y de explicar los principios que parecen regir su comportamiento. Argüiré que las naturalezas de las cosas determinan sus destinos. Ello revela algo más de la infinita pereza del perezoso creador, ya que muestra cómo el permitir una libertad total lleva a la aparición de limitaciones y restricciones. Intentaré mostrar que no hacer nada, a no ser permitir una libertad absoluta, conduce a un comportamiento aparentemente reglado y disciplinado.

Veremos cómo el prestar atención a lo obvio nos lleva a discernir la naturaleza subyacente de la luz y la materia. Estaremos muy cerca de descubrir la naturaleza del tiempo

y del espacio, y de ver su amalgama en el espaciotiempo. Veremos que la naturaleza fundamental de la energía, la fuerza y las partículas emerge como propiedades del espacio y del tiempo. De este modo empieza a ser comprensible la naturaleza y peculiares propiedades del tiempo, y el mundo se torna algo más transparente.

III. CÓMO CAMBIAN LAS COSAS

Quiero probar ahora que la conducta de las cosas está determinada por su naturaleza. Quiero mostrar que la cualidad esencial de las cosas muy simples, incluidas las cosas que carecen de mente, es suficiente para determinar su comportamiento sin que sea necesario imponerles ningún tipo de reglas. Cosas tan pequeñas como átomos y electrones no pueden tomar decisiones, pero tienen que conducirse conforme a su naturaleza innata: incluso a escala atómica, lo que las cosas son determina cómo son las cosas. Un creador infinitamente perezoso evitaría especificar las reglas, si la naturaleza de un ser pudiera regir su conducta. Vamos a suponer que puede y que, por tanto, él lo evitó; y haremos ver cómo es posible prescindir de las leyes a las que el mundo parece estar sujeto. No tenemos más presupuesto que éste: las cosas suceden, a no ser que estén expresamente prohibidas; y nada está prohibido.

Hemos visto que el flujo de acontecimientos en el universo es el engranaje de pasos hacia la dispersión de energía. Los empujones individuales son cambios de átomos, aceleraciones, colisiones, etc. En este capítulo nos vamos a

Para entender los términos *empujar* y *paquete de energía* hemos de examinar el comportamiento de entidades individuales tales como átomos y moléculas. Hemos de ver qué determina la dirección del movimiento de una molécula de un gas y lo que determina cómo cambia la dirección cuando tiene lugar una colisión. Son problemas de mecánica. Hay dos grandes sistemas de mecánica: la *mecánica clásica* y la *mecánica cuántica*. La primera fue un gran logro de la inteligencia (sobre todo de la de Newton) y puso los fundamentos esenciales de la física teórica. Sin embargo, es tan sólo una aproximación, y la mecánica cuántica la ha desplazado como la descripción más fundamental actualmente disponible de las propiedades de la materia. Nos ocuparemos de la relación entre ambas.

Aquí, como con frecuencia sucede en la ciencia, diferencias de tipo dan pie a una interpretación en términos de diferencias graduales. Si bien parece que la luz se propaga de forma totalmente distinta al sonido, intrínsecamente son lo mismo, pero muestran sus semejanzas de un modo más profundo del que se podría sospechar. Más adelante se desarrollará este punto.

fijar más detenidamente en estos pasos, y a examinar cómo responde una especie y cómo ello afecta a sus vecinos. En el capítulo 2 dimos un paso hacia la simplicidad descartando el designio y el plan; en éste damos un paso más hacia esa misma simplicidad descartando la necesidad de imponer reglas o principios. Las cosas se comportan, los principios son nuestro comentario sobre su comportamiento.

Un modo de expresar nuestra reflexión sobre la creación es afirmar que estamos buscando la naturaleza absoluta de las cosas. La postura adoptada de que la índole interna rige la conducta observada es más útil en esta investigación si se le da la vuelta. Sostendremos que podemos descubrir las cualidades esenciales de las cosas reparando en su conducta. Si podemos identificar una característica que inevitablemente es implicada por la conducta observada, entonces habremos identificado algo crucial, un aspecto decisivo de la cosa.

Hemos de examinar el universo a nuestro alrededor, escoger unas pocas cosas obvias e identificar los principios más simples que expresen su conducta. El paso siguiente es, pues, tratar de hallar la característica de las cosas que, una vez descubierta, nos permita explicar y descartar de hecho esos principios. En este nivel habremos eliminado otras complicaciones innecesarias.

Lo más asequible es comenzar con la observación que está en la base de nuestro principal modo de contacto con el mundo próximo y el lejano universo: con la observación de que podemos ver.

La luz, como todos sabemos, se propaga en líneas rectas. Si pudiera doblar esquinas, sería más difícil discernir el mundo. Sería como oírlo en lugar de verlo. Estaríamos inmersos en una sinfonía cromática proveniente de objetos que a duras penas se podrían localizar con precisión y que sólo se podrían escudriñar como entre brumas. No habría noches; la sinfonía no tendría fin.

Pero no es del todo exacto decir que la luz se propaga en

La propagación rectilínea de la luz es un aspecto del *principio del tiempo mínimo de Fermat*.[35] Más adelante encontraremos otros ejemplos de *principios límite*, y veremos que éste es un caso particular.

Esta discusión es, en lo fundamental, la interpretación de Fermat de la ley de la refracción de Snell, que dice que la razón entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es igual a la razón de las velocidades en los dos medios (e inversamente proporcional a la razón de los índices de refracción). Un ejercicio atractivo es calcular la trayectoria real desde una posición concreta de su hamaca en la playa hasta una posición determinada de la víctima. La complejidad de este cálculo (o al menos, el tiempo que se tarda en llegar a una conclusión numérica) subraya el hecho de que la luz debe tener, si no un instinto natural, sí al menos una característica intrínseca.

líneas rectas. Lo contradice la observación. La luz se tuerce en la conjunción de dos medios diferentes. La pierna dentro de la bañera parece rota aunque no lo esté. Una lente desvía la luz, y se ajusta para enfocar la imagen en una película o en un ojo. Hemos de encontrar, pues, un principio que exprese tanto la rectilineidad de la trayectoria cuando el medio es uniforme como su desviación al pasar de un medio a otro.

El principio que engloba ambas posibilidades resulta ser elegantemente simple (como todos los principios aceptables antes de ser eliminados): la luz sigue el camino que requiere un tiempo menor.

Es obvio que este sucinto principio ofrece una explicación de la trayectoria de la luz en el aire o en cualquier otro medio uniforme, ya que en ese caso la línea recta es el camino más corto para todo lo que se desplaza a velocidad uniforme. El principio explica también que la luz se desvíe en la confluencia de medios diferentes. La velocidad de la luz es distinta en medios distintos; el camino más breve ya no es, en ese caso, el más recto, como es fácil de ver en el ejemplo del que se está ahogando.

Supongamos que la víctima está en la mar, y que usted está en la playa. ¿Qué camino le conduce hasta la víctima en el menor tiempo, teniendo en cuenta que usted corre más deprisa de lo que nada? Una de las posibilidades es seguir la recta geométrica que une su hamaca con el punto en el que la víctima se está hundiendo; usted tendrá que correr un rato y nadar cierta distancia. Otra alternativa podría ser que usted corriera hasta el lugar de la orilla que está justo enfrente de la víctima y nadara, desde allí, en línea recta. En este caso la distancia recorrida es mayor, pero el tiempo empleado puede ser menor, si usted corre mucho más deprisa de lo que nada. Por tanteo (ensayo y error) o por trigonometría, usted acabaría por descubrir que el recorrido que requiere un tiempo mínimo es el que usted hace si corre por la playa en un determinado ángulo, cambia después en un determinado punto la dirección y nada en línea recta ha-

Una onda luminosa es una onda electromagnética, una serie de crestas y valles de un campo eléctrico y magnético.[36] La longitud de onda determina que se perciba un color u otro. La luz visible se sitúa entre las longitudes de onda de 4×10^{-7} m (violeta) y 7×10^{-7} m (rojo). Podemos formarnos una idea de esas longitudes de onda: 10×10^{-7} m es una milésima de milímetro, algo que nuestra mente todavía puede captar.

En la base de estos párrafos está el concepto de *interferencia*. La interferencia entre ondas puede ser *constructiva* o *destructiva*. En la interferencia constructiva las amplitudes de varias ondas se sobreponen de forma que aumenta la amplitud total: la superposición da como resultado una amplitud mayor. Por el contrario, en la destructiva las amplitudes se interfieren de forma que se contrarrestan, teniendo como resultado una amplitud menor. Esto se puede ver en la superficie de un estanque después de haber dejado caer dos piedras, una muy próxima a la otra: los círculos concéntricos se refuerzan o se destruyen uno a otro al propagarse en una misma región.

cia su objetivo (si es que no es ya demasiado tarde). Éste es exactamente el comportamiento de la luz al pasar de un medio a otro.

Mas ¿cómo sabe la luz, al parecer por adelantado, cuál es el camino más rápido? Y, además, ¿por qué habría de tenerlo en cuenta? El único modo de dar con el camino más rápido parece ser el ensayarlos todos y eliminar después todas las huellas de haber actuado así. Debe haber algo en la naturaleza de la luz que implique que espontáneamente ensaye todos los caminos y los elimine después todos excepto el más rápido.

La propiedad decisiva es que la luz se desplaza como una onda. Una vez comprendido esto, el resto de sus propiedades encajan perfectamente: no puede dejar de ir por el camino más rápido.

Una onda u ondulación es una serie de crestas y valles. Dos o más ondas de perturbación pueden propagarse por la misma zona. Si resulta que las crestas de una coinciden con los valles de la otra, entonces tienden a anularse, y, en ese caso, un observador ve menos perturbación que si sólo le afectara una onda, e incluso puede llegar a no percibir ninguna perturbación si resulta que esas ondas se anulan completamente. Ésta es básicamente toda la información que necesitamos para ver cómo la naturaleza de la luz determina su destino.

Sostenemos que las cosas suceden si no están explícitamente prohibidas y que un creador infinitamente perezoso no se toma la molestia de prohibir. Imaginemos, pues, un rayo de luz que va de A a B siguiendo un recorrido zigzagueante. *Nosotros* sabemos que la luz no sigue esa trayectoria, pero la luz no lo sabe. Si ese recorrido es admisible (es decir, no está explícitamente prohibido), entonces también lo es, por lo que a la luz se refiere, otro recorrido que sea muy cercano a ése. Por tanto, la luz sigue también ese recorrido. Mientras la luz que serpenteó por el primer camino puede haber llegado a B en cresta, la luz que serpentea por el segundo pudiera llegar a B en valle, o en una po-

Cuando la longitud de onda es corta, cambios incluso mínimos del curso seguido pueden producir cambios enormes en la interferencia. En otras palabras, las longitudes de onda cortas se comportan como lupas y amplían los pequeños desplazamientos de la trayectoria transformándolos en cambios grandes de la interferencia. Lo cual significa que sólo trayectorias muy próximas a la línea recta se libran de interferencias destructivas, cuando la longitud de onda es corta. Y a la inversa, cuando la longitud de onda es larga, las interferencias dependen muy poco del camino recorrido.

La longitud de onda del *do* medio es de 1,3 m, comparable al tamaño de los obstáculos habituales en una habitación. Dicho sea de pasada, el sonido no es una onda electromagnética sino una onda de presión; pero las consideraciones hechas a propósito de la propagación de la luz se aplican a la propagación del sonido (excepto en algunos detalles).

sición intermedia. Hay infinidad de recorridos que están muy próximos al primero, y un observador en B ve la perturbación total producida por las ondas que los exploran todos; muchos llegan a B en valle, otros muchos en cresta, y son también muchos los que llegan en posiciones intermedias.

La perturbación resultante en B es, pues, nula, porque siempre hay un vecino dispuesto a neutralizar al que está contiguo. En otras palabras, dejando que siga todos los caminos parece que la luz no puede moverse en absoluto. Pero la luz sí que se mueve.

Pero nos hemos precipitado al dar uno de los pasos. Imaginemos un rayo que va en línea recta de A a B. Imaginemos también un recorrido contiguo y el rayo que lo sigue. Si este camino está próximo al primero, tendrá un valle en B si el primero tenía un valle, y una cresta si el primero tenía una cresta. Hay muchísimas líneas casi rectas de A a B, y todas ellas producen perturbaciones en B que difieren poquísimo de la perturbación propia de la trayectoria rectilínea. Por consiguiente, estos recorridos no se neutralizan entre sí, y un observador situado en B ve la luz. Observa que la luz ha llegado hasta él, siguiendo líneas rectas o casi rectas.

Los rayos no del todo rectos, pero casi, concurren a la perturbación en B en una extensión que depende de su longitud de onda (la separación entre dos crestas consecutivas). Si la longitud de onda es corta, entonces sólo sobreviven los rayos adecuadamente cercanos a la línea recta, al tener abundantes vecinos neutralizadores todos los demás. A medida que aumenta la longitud de onda, las ondas se apartan con más dificultad del camino y decrece el poder neutralizador de los vecinos. En ese caso sobreviven incluso rutas muy curvadas que pueden manifestar su perturbación. Ésta es la razón de que las trasmisiones de radio (que emplean ondas de gran longitud) puedan rodear las casas y de que nosotros no podamos ver en ángulo recto lo que está a la vuelta de la esquina. Sí podemos, en cambio,

La ralentización de la luz al pasar a un medio más denso es resultado de la interacción entre el campo electromagnético del rayo de luz y los electrones de las moléculas que constituyen el medio. En cierto sentido habríamos de incorporar este dato a la argumentación, al igual que la naturaleza ondulatoria de la luz; pero ya se arregla por sí mismo cuando se considera el universo como un todo. Se puede considerar a una lente como una región de un medio denso especialmente configurado para inducir la interferencia correcta entre los rayos de luz que la atraviesan, y desviar así los rayos a un foco apropiado.

El principio del tiempo mínimo es un ejemplo de un "principio límite". La mecánica clásica de partículas se puede expresar también en términos de un principio límite, el *principio de la mínima acción*.[35, 37] Maupertuis, el creador del principio (en 1744, aunque de forma algo confusa), lo propuso en un intento de proporcionar una fundamentación teológica a la mecánica; y el razonamiento era (como otros muchos que han hecho proliferar los principios de mínimos) que la perfección del Ser Supremo sería incompatible con todo lo que no suponga el mínimo dispendio de acción.[35] Este argumento traía cola y a mí me resulta sugerente ver cómo sus consecuencias terminan por eliminar la premisa fundamental.

oír lo que está al otro lado de la esquina: las ondas sonoras son largas.

La naturaleza de la onda luminosa explica bien que sea inevitable que la luz haya seleccionado la línea recta. Si bien ello es cierto cuando se trata de medios uniformes, como el aire. Cuando pasa de un medio a otro más denso, la luz va más despacio. El resultado es que se modifican las posiciones de sus crestas y valles. La luz sigue explorando todos los caminos posibles, pero ya no es la línea geométricamente recta la que no tiene vecinos aniquiladores. Ahora el camino que sobrevive es, debido al cambio de crestas y valles, el que se dobla en la confluencia de ambos medios. El recorrido que sobrevive resulta ser también el camino más rápido. Por consiguiente, este principio o regla resulta ser pura y simplemente un comentario remoto sobre una ausencia, a nivel más profundo, de un propósito o plan. La luz descubre automáticamente los recorridos más rápidos ensayando todos los caminos, y borra todas las huellas de sus exploraciones; es éste un modo de proceder que solemos compendiar diciendo que es un principio.

En este ejemplo vemos cómo una libertad omnímoda genera su propia restricción. Además de dar una explicación de la conducta observada, todo lo dicho concuerda con la visión del sentido común que sostiene que las cosas inanimadas son simples por naturaleza. Es un paso adelante en el camino hacia la concepción de que las cosas animadas, al ser inanimadas por naturaleza, son también simples por naturaleza.

El paso siguiente del desarrollo lleva consigo reparar en una observación similar sobre otra cosa distinta. Puesto que el comportamiento es semejante, podemos sospechar que la explicación es también semejante. Querría que se reparara en que las partículas de materia se desplazan también en líneas rectas a no ser que se vean sometidas a una fuerza. ¿Por qué?

De acuerdo con la tesis que hemos adoptado, actúan así porque ésa es su naturaleza intrínseca. Pero ¿qué puede ser

esa naturaleza intrínseca que determina tal comportamiento? No puede ser otro que el que las partículas se propagan como ondas.

De un solo salto hemos pasado, guiados por el sentido común, de la originaria y anticuada física newtoniana a la teoría moderna de la materia, la teoría cuántica, que tiene por inseparables las cualidades "partícula" y "onda". No son pocos los que se encuentran cómodos en el marco de la física clásica y consideran a la teoría cuántica, con la que están menos familiarizados, como contraria al sentido común. Mas yo soy de la opinión de que el sentido común va en dirección opuesta y nos lleva a sustituir la física clásica por la teoría cuántica. Sostengo que el frecuente trato, que ofusca la mente, con la física clásica encubre su incomprensibilidad, excepto en lo que tiene de comentario y modo de cálculo. Examinadas con detenimiento, las explicaciones de la física clásica se vienen abajo, y se las ve como meras ilusiones superficiales, como un decorado de película.

La teoría cuántica no se reduce, ni mucho menos, a afirmar que las partículas son de naturaleza ondulatoria, pero sí que esa afirmación es central en dicha teoría y de ella nos vamos a ocupar ahora: primero, buscando el principio real que parece regir la mecánica clásica de partículas, y tratando, después, de hallar una explicación.

El principio que parece regir la propagación de partículas es curiosa y, por tanto, sospechosamente similar al principio que parece regir la propagación de la luz: entre dos puntos A y B las partículas siguen trayectorias que suponen la mínima acción. En este punto, es irrelevante el significado técnico del término *acción*; el sentido cotidiano del término es suficientemente exacto y correcto. En concreto, si sobre la partícula no actúa fuerza alguna, entonces la trayectoria que supone una acción mínima es uniforme y rectilínea (sin meandros ni aceleraciones).

Ahora bien, ¿cómo sabe una partícula, antes de intentarlo, cuál de los infinitos posibles caminos de A a B co-

R. P. Feynman ha explicado con abundancia de detalles la transición entre la mecánica clásica y la mecánica cuántica en términos de las analogías entre el principio del tiempo mínimo de la óptica y el principio de la acción mínima de la mecánica.[38, 39]

Las rectas del espaciotiempo curvo son sus *geodésicas*. Nos estamos adentrando en los dominios de la relatividad general.[40–42]

rresponde al de menor acción? ¿Y por qué habría de tenerlo en cuenta?

En cuanto empezamos a pensar que las partículas se propagan como ondas, ambas cuestiones quedan eliminadas por el mismo razonamiento que las eliminó en el caso de la luz. La naturaleza intrínseca de las partículas, su carácter ondulatorio, asegura que sigan trayectorias rectilíneas de acción mínima, ya que todas las otras trayectorias, que las partículas tienen plena libertad de explorar, son neutralizadas automáticamente. La razón por la que de ordinario no parezca que las partículas, como los cerdos o las personas, son ondas es simplemente que sus longitudes de onda suelen ser tan cortas que no se las puede detectar. Sin embargo, sí que se propagan como ondas, y esta característica ofrece explicaciones que de ninguna manera podía dar la física clásica.

Esta descripción explica el movimiento en línea recta, porque en ausencia de fuerzas esos caminos son los que sobreviven; la naturaleza ondulatoria los hace sobrevivir. Sabemos, por otra parte, que las trayectorias curvas y el movimiento acelerado son producto de la acción de fuerzas. Pero ¿qué son las fuerzas? Como un primer paso para hallar una respuesta nos fijamos en la naturaleza de la gravedad, pues la gravitación constituye el escenario sobre el que representan sus papeles las otras fuerzas.

La gravedad es, en dos palabras, espaciotiempo curvado. Entendido esto (y enseguida nos ocuparemos de que se entienda), se elimina en la práctica la gravitación como concepto separado y distinto, excepto por lo que se refiere al modo de hablar y a los cálculos. La eliminación es la mejor explicación, pues implica una creación menor.

Olvidémonos, por el momento, del tiempo en el espaciotiempo y ocupémonos del espacio. En ese caso el espacio curvado significa que lo que percibimos como líneas rectas no son en verdad auténticas líneas rectas. En cierto sentido, la que está combada es nuestra percepción; y esta familiaridad es aún responsable de otra ilusión. Por consiguiente, en

Las partículas se propagan a lo largo de las geodésicas en el espaciotiempo por la misma razón que se propagan en línea recta en el espacio euclídeo ordinario (¡pero que no existe!). Adviértase que una geodésica temporal en el espaciotiempo es espacialmente la distancia *más larga* y no la más corta; con todo, se aplican los mismos argumentos.

El campo gravitacional del Sol invierte exactamente un año en hacer que una línea recta parezca un círculo del diámetro de la órbita terrestre.

lugar de explicar por qué las partículas no siguen trayectorias rectilíneas bajo la acción de la gravedad adoptaremos una alternativa elegante. Sostendremos que las partículas siguen invariablemente líneas rectas, pero que esas trayectorias nos parecen curvas a nosotros.

Este cambio de perspectiva, aunque parezca ser uno de esos casos en que los filósofos sucumben al placer por los juegos de palabras, es en realidad una gran simplificación. No hay nada falaz ni engañoso en un cambio de punto de vista: la ciencia es la búsqueda de la perspectiva más simple, la que elimina elaboraciones, la que descarta ulteriores preguntas. Tenemos ahora una cosa menos que explicar, porque sabemos ya que las partículas tienen una naturaleza intrínseca que les lleva a seguir líneas rectas. Las cosas (partículas, luz, personas, planetas y estrellas) siguen *invariablemente* líneas rectas. Ésta es su naturaleza. Con todo, nosotros, observadores y comentadores, hemos de rectificar nuestra concepción humana de la rectilineidad.

Sin embargo, no parece que el espacio curvo sea la solución del problema. Por ejemplo, sabemos que los planetas giran alrededor del Sol en órbitas más o menos circulares, y no parece posible imaginar al espacio que se curva hasta el extremo de doblar las líneas rectas tanto que parezcan circunferencias. Por otra parte, sabemos también que las cosas se aceleran bajo la acción de la gravedad. Para poder pensar la velocidad hemos de considerar el tiempo (la posición puede existir sin el tiempo, pero la velocidad necesita del tiempo). Pero una vez se introduce en la discusión al tiempo y se considera conjuntamente al tiempo y al espacio unidos en el espaciotiempo, entonces no sólo se introduce la velocidad sino que también proporciona la suficiente flexibilidad como para distorsionar las líneas rectas en órbitas cerradas. En otras palabras, el observar que planetas y satélites describen órbitas aproximadamente circulares nos obliga a pensar al espacio y al tiempo conjuntamente. El percatarse de lo obvio ha llevado a otra síntesis.

Mas ¿qué queremos dar a entender con el término *su*

La naturaleza del tiempo ha sido, como era de esperar, objeto de muchas discusiones, que han sido teológicas unas veces, filosóficas otras, y con frecuencia provechosas. En mi opinión, la exposición reciente más interesante es el libro de G. J. Whitrow[43] que se ocupa de distintos niveles de aspectos temporales, entre los que se hallan el tiempo humano, el tiempo biológico, el tiempo matemático y el tiempo cósmico. Este fascinante libro arranca de las perturbaciones que experimentan las abejas con los cambios horarios.

La idea de medir las distancias N-S en unas unidades y las distancias E-O en otras como analogía de la incorporación del tiempo es un desarrollo de una idea que otros han elaborado más.[44] La principal ventaja de pasar de unas unidades a otras es que lleva al concepto y definición de *distancia*.

unión? La amalgama debe ser un procedimiento algo delicado, pues parece que son entidades muy distintas. Podemos ver una extensión espacial, pasearnos por ella, recorrerla en sentido contrario y volverla a contemplar de nuevo; pero al tiempo parece que sólo podemos sentirlo y no tenemos posibilidad de pararlo. Mientras podemos asir objetos en el espacio, es el tiempo el que nos coge a nosotros. El tiempo parece interno; el espacio, externo.

El tiempo difiere del espacio incluso en ausencia de conciencia o conocimiento. Aunque nos solemos referir a él como la cuarta dimensión, no es sin más una cuarta dimensión del espacio. Aunque podríamos pensar que el tiempo es una sola dimensión adicional, el espaciotiempo no es simplemente una dimensión más añadida al espacio. La distinción esencial entre el espacio y el tiempo está en la naturaleza de su unión o amalgama. En una palabra, se halla en su geometría.

La riqueza de la existencia se funde hasta reducirse a una peculiaridad geométrica. Se puede discernir su naturaleza por medio de la siguiente analogía. Pensemos primero en el espacio solo. Supongamos que por una casualidad de la historia tuviéramos la costumbre de medir las distancias este-oeste en millas y las distancias norte-sur en kilómetros. Pensemos cuán engorroso sería expresar la distancia (y el tiempo que se emplearía yendo en coche) desde el lugar en que nos encontramos a un punto situado en el noreste. La gente se quedaría perpleja cuando se encontrara con que el radio de un círculo variaba de 1 milla a 1,6 km. Seguramente habrían llegado a pensar que en esa observación debía haber un indicio de la naturaleza del universo.

La complejidad habría desaparecido al sugerir alguien que se convirtieran las millas en kilómetros. En cuanto todas las distancias este-oeste se pasan a kilómetros se descubre que el radio de una circunferencia es independiente de la dirección; las distancias noreste y todas las demás adquieren una forma muy simple, y Pitágoras podía expresar con gran simplicidad su famoso teorema: $d^2 = x^2 + y^2$. La

El valor exacto de *c* es $2\,997\,925 \times 10^{8}$ m s^{-1}. Digo que desorienta referirse a *c* como la velocidad de la luz porque es simplemente la velocidad límite de propagación de cualquier clase de señal (u objeto); sólo que entró en la física *a través de* la teoría electromagnética. Por consiguiente, toda señal vehiculada por partículas sin masa (por ejemplo, los fotones en el electromagnetismo, los gravitones en la gravitación y los neutrinos) se propaga con la misma velocidad *c*.

Una unidad corriente para medir distancias es el año-luz. Una forma de entender qué es un año-luz es decir que es la distancia que recorre la luz en un año (y equivale a $9{,}45 \times 10^{15}$ m, casi diez billones de kilómetros). El Sol está a 8,3 minutos-luz; la estrella más cercana, *Proxima Centauri*, a unos 4,27 años-luz, y la galaxia más próxima, *Andromeda Nebula*, a unos 2,25 millones de años-luz. Otro modo de considerar el año-luz es como la consecuencia de expresar las distancias y los tiempos en unidades comunes (es decir, haciendo lo contrario de lo que acabamos de indicar: tan legítimo y tan razonable es el ajustar en un sentido como en otro las unidades establecidas por el hombre).

complejidad de la descripción geométrica del mundo disminuye cuando todas las distancias, sea cual sea su dirección, se expresan en las mismas unidades.

Podemos imaginar que hubieran quedado algunos científicos, y no pocos filósofos, que siguieran intentando explicar el origen del mágico factor de conversión de millas a kilómetros, creyendo que su valor 1,609 344 km por milla es central entre los atributos del universo que requieren explicación. Nos meteríamos en una vía equivocada tratando de desentrañar lo que el hombre impone; la comprensión ha de venir más bien de su eliminación.

Exactamente el mismo tipo de simplificación tiene lugar cuando se alinean las unidades de tiempo con las de espacio. Todo lo que necesitamos es un factor que convierta los segundos en kilómetros, un factor de tantos kilómetros por segundo; es decir, una velocidad. El factor que se ajusta, en el sentido de que concuerda con la observación, tiene el valor aproximado de 299 000 km por segundo, una cantidad denotada por *c*, a la que en otros tiempos (y aun ahora desorientadoramente) se la llamaba velocidad de la luz.

Cuando el tiempo se expresa en kilómetros se presentan muchos inconvenientes en la vida cotidiana, como, por ejemplo, la enormidad de los números en las esferas de los relojes, y expresiones inusitadas, como, por ejemplo, "Usted ha llegado 90 millones de kilómetros tarde"; pero encuentra una valiosa recompensa en la elegante simplicidad de la medición de separaciones y de la descripción de curvas.

Si *c* es simplemente un factor de conversión para las medidas impuestas por el hombre, lo sorprendente es por qué resulta que la luz va a una velocidad que tiene el mismo valor numérico. La respuesta aparecerá cuando hayamos seguido otra pista.

Al ser *c* un factor que convierte una unidad de medida en otra, es plausible que todos los observadores le asignen el mismo valor. Será irrelevante dónde esté usted o qué haga; el factor de conversión tendrá que ser el mismo. Todo ob-

La observación de que la velocidad de la luz es independiente del estado de movimiento del observador es el famoso experimento de Michelson-Morley, que representó uno de los grandes resultados negativos de la ciencia.[43, 45] La otra gran comprobación de algo que no sucede fue la imposibilidad de observar diferencias entre la masa inercial y la masa gravitacional, como se puso de manifiesto en los experimentos de Eötvos y Roll, Krotkov, y Dicke. Se puede considerar a esta falta de éxito como el origen de la teoría de la relatividad general.[8, 42]

Nos referimos a los signos (+,+,+,−) de (+) $x^2 + y^2 + z^2 - (ct)^2$ como la *clave métrica* del espacio. La clave de la geometría euclídea de cuatro dimensiones sería (+,+,+,+).

La *distancia*, la d de $d^2 = x^2 + y^2$, entre dos puntos se introdujo como una cantidad característica del espacio. El *intervalo* entre eventos es la cantidad que caracteriza el espaciotiempo. Se vio que la fórmula $x^2 + y^2 + z^2 - (ct)^2$ no depende de la velocidad a que se desplaza el observador.[44]

servador, con independencia de su estado de movimiento, medirá el mismo valor de c.

La incorporación de la constancia de c a la física condujo a la segunda revolución científica del siglo XX: la relatividad. Esta revolución surgió de un conflicto. Por una parte, se identifica a c como una velocidad relativa (la velocidad relativa de la luz respecto a un observador que, a su vez, puede estar también en movimiento y, por consiguiente, razonablemente se podría esperar medir velocidades distintas de la luz según dicho observador se acercara o se alejara de la fuente de luz). Por otra parte, se identifica a c como una constante absoluta, firmemente establecida para todo observador independientemente de lo que esté haciendo, y, en concreto, con independencia de la velocidad a que se mueva.

Sólo hay una manera de resolver el conflicto. Se ha de ligar el tiempo con el espacio de forma que distorsione nuestra percepción de las velocidades relativas.

La expresión $d^2 = x^2 + y^2$ puede compendiar el teorema de Pitágoras en el plano; ampliado a tres dimensiones, la expresión es $d^2 = x^2 + y^2 + z^2$. Si el tiempo no fuera más que una cuarta dimensión del espacio, un Pitágoras moderno escribiría $d^2 = x^2 + y^2 + z^2 + (ct)^2$. Sin embargo, esta extensión y ampliación simplemente no es válida. Un observador que midiera la separación de eventos de acuerdo con esta expresión se hallaría en un lío de difícil solución, pues la separación dependería de su velocidad, y su medida de la velocidad de la luz dependería de su estado de movimiento.

Un pequeño cambio elimina esta confusión y tiene como resultado que todos los observadores observen que la luz se mueve a la misma velocidad, cualesquiera que sean sus estados de movimiento. Si las separaciones se expresan por $d^2 = x^2 + y^2 + z^2 - (ct)^2$, entonces serán independientes de la actividad y orientación del observador. Todos los observadores registran, pues, la misma separación y obtienen la misma velocidad de la luz.

En los libros sobre la relatividad mencionados anteriormente[41, 44] se puede ver el análisis de la restricción de la dirección de las señales que tiene su origen en la clave métrica (+ , + , + , –).

Para ilustrar qué es y qué no es una recta en el espaciotiempo fíjese en su propia trayectoria mientras está sentado leyendo este libro. La influencia gravitacional de la Tierra distorsiona el espaciotiempo en su proximidad de forma que la dirección natural de su movimiento se dirige al centro de la Tierra. Al tender a seguir esa dirección se encuentra con un obstáculo, la propia tierra (que usted no puede penetrar por razones mecánico-cuánticas, a menos que se vaya abriendo paso a golpe de pala). Éste ejerce una fuerza que usted puede experimentar por el asiento de la silla. Esta fuerza le mantiene apartado de su geodésica.

Hemos dado con la simplificación crucial de la descripción de las propiedades del espacio y del tiempo. A causa de ese signo menos en la expresión de la separación de eventos, el tiempo no es una mera cuarta dimensión del espacio, aunque esté expresado como una distancia. A causa también de ese signo menos, el tiempo es totalmente distinto del espacio. Veremos que ese cambio de signo, aparentemente insignificante, marca la diferencia entre existir y no existir, y es, además, la raíz de que percibamos de forma distinta la posición y la duración. Este signo menos es lo que llamamos una *peculiaridad geométrica*. Está en la base de la existencia y evolución del universo.

Por razón del signo menos ninguna señal puede recorrer hacia atrás el espaciotiempo, igual que en la geometría ordinaria una circunferencia normal no puede tener un radio negativo. El signo menos aísla y separa el pasado del presente, y garantiza que nada futuro pueda modificar algo actual o pasado. Asegura, pues, que nuestros destinos se hallan en el futuro y no en el pasado.

La irrepetible e irreversible secuencia de sucesos que constituye nuestra conciencia es el "tiempo" que percibimos como corriendo hacia adelante. Estos sucesos marchan necesariamente hacia adelante a lo largo de la dimensión que designamos como tiempo. Igual que los eventos individuales sólo se proyectan hacia adelante en el tiempo e igual que el cambio está atrapado en la irreversibilidad a causa de la dispersión y la percepción es la acumulación de experiencias, así nuestro conocimiento es conducido al futuro.

Hemos de retornar a la ilusión de rectilineidad y a las trayectorias naturales de las partículas. Hemos visto qué sucedía cuando sólo se curvaba el espacio; pensemos ahora en un espaciotiempo curvado. El espaciotiempo se dobla por la presencia de materia de modo que lo que aparentemente es una línea recta en realidad no es intrínsecamente recta. Ahora bien, las partículas siguen por el espaciotiempo líneas rectas porque ésa es su naturaleza; pero

una línea recta ya no es percibida como tal por un espectador. Debido a que también el tiempo está ahora ligado al espacio y se curva la estructura completa, el movimiento uniforme ya no se percibe como uniforme, como tampoco se percibe ya como recto lo espacialmente recto. Un espectador percibe, en su lugar, aceleraciones y deceleraciones de la partícula. El movimiento de la partícula es en realidad uniforme, pero las propiedades intrínsecas del espaciotiempo engañan al espectador haciéndole percibir modificaciones del movimiento.

La trayectoria de un planeta alrededor del Sol es una línea que es perfectamente recta y recorrida a velocidad uniforme, pero la percibimos como una órbita cerrada y no recorrida a velocidad uniforme. La subida y caída de una pelota es, en realidad, un recorrido rectilíneo y uniforme, pero la torsión inducida en el espaciotiempo por la cercanía de la tierra deforma nuestra percepción como una lente deficiente, e inferimos que actúa sobre ella una fuerza que frena la pelota y la hace retornar. En realidad la fuerza no existe: la trayectoria es una ilusión.

Gravitación es la palabra que empleamos para referirnos a esa distorsión. Intrínsecamente considerado, el movimiento es extraordinariamente simple: el movimiento es uniforme y rectilíneo, simplemente parece deformado por la presencia de la materia. En el fondo la gravitación no existe.

Lo obvio es preguntarse ahora por qué la materia induce una distorsión. De momento prefiero dejarlo de lado y abordar esa cuestión más adelante. Quedan preguntas por hacer referentes a los temas esenciales. Hay otras fuerzas además de la gravedad: fuerzas eléctricas, etc. ¿Cuál es su naturaleza?

Una analogía nos ayudará a identificarlas primero, y a eliminar, después, su existencia. Pensemos en una pareja de patinadores que van patinando siguiendo trayectorias paralelas. Si empiezan a tirarse pelotas uno a otro, se separan al lanzar su pelota y coger la del otro. Un observador lejano,

Probablemente la exposición introductoria más interesante de la interpretación de las fuerzas en términos del intercambio de partículas se puede ver en el libro de Nigel Calder.[7] El comentario sobre los bumeranes ha sido tomado de la conferencia de sir Denys Wilkinson en el Wolfson College en 1980. La analogía es a un tiempo gráfica y profunda, pues el que las fuerzas actúen (o no) atractiva o repulsivamente depende del espín de las partículas intercambiadas: tratándose de partículas semejantes, partículas de espín entero-par son atractivas, partículas con espín entero-impar son repulsivas. Para una exposición de la descripción moderna de las fuerzas véase Davies.[46] Se ha descrito también de forma muy sencilla[47] la unificación de las fuerzas y el concepto de supergravedad.

La fuerza electromagnética entre partículas cargadas eléctricamente se debe al intercambio de *fotones* (cuantos de luz). En las interacciones fuertes intervienen los *gluones*, que actúan entre quarks; en las débiles, los (desafortunada pero adecuadamente llamados) *bosones de vector intermedio*. La fuerza gravitacional depende del intercambio de *gravitones*. Para una discusión de la supergravedad y de los gravitinos, véase el artículo citado más arriba.

que no ve las pelotas, lo más probable es que se engañe creyendo que un patinador repele al otro. Inferirá que entre ellos existe una fuerza que los aparta de sus recorridos rectilíneos. Nosotros sabemos más. Sabemos que se intercambian cosas. Si los patinadores lanzan bumeranes, un observador lejano los verá acercarse. Como no ve los bumeranes, infiere que entre ellos hay una fuerza de atracción. Nosotros sabemos más. Sabemos que tal fuerza no existe, sino tan sólo un intercambio de objetos.

Se puede considerar a todas las fuerzas que mantienen unidos a los átomos, a los núcleos y a las componentes últimas de las partículas, como el resultado del intercambio de partículas. *Fuerza* es sólo la palabra en clave que designa ese comportamiento que se desarrolla en el escenario del espaciotiempo. El espaciotiempo, con su curvatura, constituye el escenario; las partículas propagándose como ondas siguen líneas rectas; pero unas partículas se desprenden de otras partículas y se mueven (en líneas rectas) hacia otras y les imprimen su movimiento. *Fuerza* es el nombre de ese intercambio de partículas. Esto es todo lo que hay con respecto a la fuerza.

Tercera orientación

Hemos visto cómo la naturaleza rige el destino, cómo el comportamiento revela la naturaleza y cómo la libertad total genera sus propias restricciones y limitaciones. Hemos visto que tanto la luz como las partículas se difunden como ondas. Dichas ondas exploran con libertad omnímoda y, al borrar sus huellas, nos engañan haciéndonos pensar que las cosas obedecen a principios y que tienen naturalezas. La función propia de la gravedad dirigió nuestra atención a la naturaleza del tiempo y del espacio, y vimos que la libertad omnímoda explica también la conducta observada en cuanto se amalgama el espacio con el tiempo, y que el espaciotiempo se deforma de manera que las líneas rectas no sean ya percibidas como tales. Incluso movimientos aparentemente complejos, tales como los que se dan bajo el influjo de otras fuerzas, emergen de una libertad total, si se comprende la naturaleza de las fuerzas como el intercambio de otras partículas. Vimos también que la unión o amalgama de tiempo y espacio se hace de forma que asegura que el pasado queda aislado del presente, pero no el presente del pasado.

Nuestra marcha por la eternidad, o lo que haya de ella, es una cuestión de geometría.

Dado que el espaciotiempo es tan importante, precisamos examinarlo más detenidamente. En particular, examinaremos una de sus características más obvias, su dimensionalidad.

En el capítulo siguiente nos ocuparemos de la conexión entre la existencia, por una parte, de tres dimensiones del espacio y de una dimensión del tiempo, y, por otra, del conocimiento capaz de discernirlas y de reaccionar a ellas. Empezaremos también a columbrar por qué, cuando un universo empieza a existir, adopta la dimensionalidad que

nos es familiar. Llegaremos así al fondo de la naturaleza de la materia y de la energía, y estaremos a punto de ver lo que el creador infinitamente perezoso debe poner en el ser (o, si no interviene, no impedir que sea).

IV. DÓNDE CAMBIAN LAS COSAS

En donde vivimos hay arriba y abajo, derecha e izquierda, delante y detrás. Es algo obvio que el universo tiene tres dimensiones. ¿Por qué? ¿Por qué no tiene sólo dos dimensiones, o cuatro, o incluso más?

A través de preguntas tan básicas como éstas podemos empezar a entender no sólo los fenómenos de la naturaleza sino también los procesos de creación. El espacio en que habitamos es algo más que un estrado de eventos, ya que la misma materia es espacio (como veremos después más explícitamente). Por consiguiente, se puede considerar que la creación no es más que la formación del espacio.

Puede que usted piense que el espacio es una cosa muy simple de crear; pero debe ser algo más que la pura vaciedad, si es que ha de tener propiedades tan copiosas como las que constituyen el mundo percibido. Intentaré justificar la tesis de que el propio espacio es autoconsciente, en un sentido que quiero que se tome como enteramente desprovisto de resonancias místicas.

¿Se ha llegado a preguntar usted alguna vez por qué hay sólo una fecha en su periódico? En otras palabras, ¿se ha

Nos hallamos en la esfera de la autorreferencia, un tema enmarañado y autoabsorbente. La descripción más extraordinaria con mucho de la autorreferencia en la literatura, la música, el arte y las matemáticas es el delicioso libro de D. R. Hofstadter.[48] Hace ver cuán agudo y sutil puede ser el espaciotiempo cuando se lo considera desde el punto de vista de la autorreferencia.

La dificultad en imaginar espacios de dimensionalidades poco familiares no nos debería impedir considerarlas atentamente: las matemáticas nos permiten tratarlas (lo cual es o bien un aspecto extraordinario de la potencia de las matemáticas, o bien un aspecto de sus posibilidades de autorreferencia). Se puede describir en tres dimensiones a los objetos tetradimensionales (de forma similar a como se pintan en dos dimensiones los objetos tridimensionales). Hofstadter se refiere, en el libro mencionado en la cita anterior, a la construcción de una ilusión óptica para las personas tetradimensionales.[49]

admirado alguna vez de que el tiempo sólo tenga una dimensión? ¿Por qué el tiempo no es, al menos, bidimensional? ¿Sería intrínsecamente diferente nuestra percepción del tiempo si fuera bidimensional, de manera que nos pudiéramos mover también de lado en el tiempo (hacia un tiempo diferente) como lo hacemos hacia adelante?

La geometría del espacio permite que un punto cualquiera sea accesible desde cualquier otro; mas la geometría del espaciotiempo aísla y separa el pasado del presente. ¿Depende la inaccesibilidad del pasado de la dimensionalidad del tiempo? Si es así, entonces la percepción es un rasgo de la dimensión.

Exploraremos la naturaleza y consecuencias de las dimensionalidades del espacio y del tiempo. Comenzaremos por examinar qué clases de universos podían haber aparecido, si la creación hubiera generado espacios con otro número de dimensiones. Veremos después que es muy probable que el hecho de la creación sólo podía desembocar y concluir en la formación de nuestro universo familiar con sus tres dimensiones del espacio y una (en cierto sentido sólo media) dimensión del tiempo. Sin embargo, tiene ciertas ventajas el considerar otros universos imaginables, pues aclaran en gran medida las características únicas y probablemente insospechadas del universo que conocemos. Esta exploración revelará, además, unas consecuencias divertidas de la dimensionalidad, tales como sus implicaciones para la naturaleza de la evolución y la aparición de la conciencia.

En síntesis, argüiré que no sólo un universo con tres dimensiones espaciales y una temporal es el único que puede sobrevivir a su propia creación, sino también que dicho universo es el único que tiene la capacidad de llegar a ser autoconsciente.

Empiezo por la autoconciencia. Si bien el conocimiento es evidentemente un criterio artificial de la viabilidad de un universo, es innegable que es una propiedad de este universo. Podríamos sostener que nosotros sólo tenemos co-

El cerebro es una vía de trasmisión no lineal. La información se introduce por un extremo (los sentidos) y el cerebro la trasmite a una especie de receptor generalizado (una acción o un enunciado). Para que un dato de entrada produzca en el receptor una señal diferente y más compleja se requiere una vía no-lineal y altamente estructurada (compárese el cerebro, por ejemplo, con un hilo de cobre, que es también una vía de trasmisión, pero que es excesivamente simple para transformar el dato de entrada en una opinión de sí mismo).

nocimiento de *esta* creación, y que hay otros universos, profundamente diferentes, que se han derivado de otras creaciones en otros lugares. Si es así, hemos de prestar atención a lo que implicarían esas diferencias profundas. Al tiempo que las señalamos, argüiré que el nuestro es el universo más sencillo y posiblemente la única clase de universo (en el sentido de tener la dimensionalidad adecuada) que puede tener conocimiento de esas otras posibilidades (como es también la única clase de universo que puede tener conocimiento de sí mismo). Más adelante se desecha incluso la posibilidad de esas alternativas. En ese punto veremos que la preeminencia que se arroga el hombre resulta ser la preeminencia de esa dimensionalidad subyacente.

Consideremos, en primer lugar, el espacio. Examinaremos la naturaleza de unos universos con otras dimensionalidades espaciales en términos de los niveles de conciencia que podrían sustentar. Si un componente de un universo ha de percibir, asimilar, aprender y comunicar, ha de ser complejo. La conciencia no es más que complejidad. Ser un ser significa organizar respuestas y estructurar coherencia de la potencialidad del caos. Desarrollaremos el argumento sobre la base de que la complejidad de la construcción es el alma del ser consciente.

Un universo sin dimensiones es un punto sin características. En cuanto tal no tiene ninguna propiedad, ninguna complejidad y, con toda seguridad, ninguna autoconciencia. La falta de dimensiones implica la falta de existencia.

Un universo monodimensional es una línea sin anchura. Las estructuras que lo habitaran serían agujas infinitamente delgadas situadas a lo largo de la línea. No hay arriba y abajo, ni derecha e izquierda, sino tan sólo delante y detrás. Las agujas nunca se pueden adelantar, a no ser que pierdan su identidad y se fusionen con sus vecinas. La evolución depende de la incorporación de lo que se pueda hallar en alguno de sus extremos. Dado que una creación sólo genera simplicidades, las cosas con las que las agujas tropiezan son siempre inanimadas y no podría desarro-

Un ser monodimensional podría mostrar inteligencia si desarrollara un sistema de ondas interactivas no lineales (la no-linearidad podría introducir la complejidad necesaria para la inteligencia, pero lograr la no-linearidad podría estar más allá de las posibilidades de dicho universo).

Existen toda una serie de descripciones de la vida en diferentes dimensiones.[50] La riqueza incomparablemente mayor del mundo bidimensional está bien expuesta en un artículo de Martin Gardner[50] basado en lo que él denomina "un *tour de force* de 97 páginas" de A. K. Dewdnay sobre la "ciencia y la tecnología bidimensionales". El artículo y el librito examinan la ciencia, la tecnología, la química, el tiempo atmosférico y el arte, así como el arte de vivir en un universo plano.

El tema del intestino es un desarrollo de una idea descrita por Whitrow.[51] El artículo de Dewdnay sobre los planiversos[50] se ocupa de aspectos similares de infelicidad biológica (o en algunos casos de felicidad, tales como la dificultad de caer encima y la facilidad de segar el césped).

llarse nunca ninguna estructura orgánica compleja. Se podría desarrollar la comunicación, porque, por ejemplo, una aguja podría rozar a su vecina y ésta a su vez a la suya. Con el tiempo estos rozamientos se podrían estructurar en movimientos complejos, en unas ondas de presión que se desplazarían adelante y atrás a lo largo del universo. Con todo, las ondas serían tan poco conscientes como las vibraciones atómicas puedan ser ideas luminosas. A causa de la pobreza de la interconexión entre los componentes de este universo, no hay ninguna oportunidad de que se desarrolle la capacidad de aprender, y las agujas sólo tendrían la más rudimentaria percepción del mundo.

Un mundo bidimensional sería, por el contrario, incomparablemente más rico. Usted podría, por ejemplo, eludir a sus vecinos. También podría tener nuevos vecinos para favorecer la reproducción, y podría ir de caza para fomentar la digestión. Podría rodear los obstáculos en vez de verse frenado para siempre por el primero con que tropezase. Podría mantener su propia complejidad (a expensas de lo que le rodea) apropiándose y eliminando alimento, y podría desarrollarla (a expensas de sus competidores) reuniéndose con compañeros con quienes colaborar en la evolución.

Sin embargo, aún quedarían desdichas. Una de ellas, un tanto divertida, se refiere al comer. Si el modo eficaz de incorporar comida del mundo exterior es por medio de un intestino, utilizando un extremo para engullir, el otro para eliminar y el resto para digerir, se tropezaría con graves problemas estructurales en el mundo de dos dimensiones. Un ser bidimensional con un intestino son dos seres; usted tendría o bien una identidad o bien una digestión. Una forma de soslayar el dilema sería comer en colaboración, es decir, si cada colaborador proporciona un lado del intestino.

Otra posibilidad es que el intestino fuese un *cul-de-sac*, engullendo y eliminando por el mismo extremo. Estos pormenores, por divertidos que sean, son más asunto de convenciones sociales en las comidas que problemas pro-

La complicación de un cerebro bidimensional[52] ha sido discutida[50] teniendo en cuenta que los nervios podrían llegar a desarrollar una forma de excitarse por intersección; sólo que los cerebros tendrían que operar con más lentitud. El argumento del defensor, Whitrow, tiene más fuerza en la práctica, si bien el oponente, Dewdnay, tiene razón en principio. Adviértase que, mientras el cerebro humano consta de unas 10^{11} neuronas, el número de sinapsis es mucho mayor, quizá unas 10^{14}. Ello es una medida de su complejidad.

El tamaño mínimo de un cerebro humano plano tendría que ser de unos 36 m^2; este cálculo supone que en la cabeza del hombre hay 10^{11} neuronas en una esfera de 5 cm de radio, y que, en ese caso, se colocan todas las neuronas, unas junto a otras, sobre una superficie densamente cubierta. Esto no es ni más ni menos que un aplastamiento de la cabeza como podría hacerse con un martillo; su recomposición en dos dimensiones, evitando los cruces, llevaría a una estructura muy extensa, y para dar una idea del tamaño no parece descabellado llamarle una ciudad de perros.

fundos de la naturaleza del mundo; pero son un indicio de que la dimensión repercute en la etiqueta.

Mucho más pertinente es caer en la cuenta de que no podría aparecer un conocimiento penetrante. Primero, porque no tendría tiempo de desarrollarse; segundo, porque sería necio que lo hiciera; y tercero, porque sólo percibiría turbiamente lo que le rodea y estaría reducido a la introspección a causa de unas comunicaciones confusas con los demás.

Sospechamos que la conciencia depende de la complejidad, de la existencia de una red de interconexiones entre células suficientemente elaboradas como para formar un cerebro. En un universo de dos dimensiones se presenta de inmediato un problema. Si bien es cierto que las conexiones pueden disponerse una al lado de otra y que se puede rodear obstáculos, con todo, al no haber arriba y abajo, no pueden cruzarse. En consecuencia, una fibra puede tener que recorrer, rodeando obstáculos, grandes distancias antes de alcanzar su destino. Algunos destinos pueden estar ya rodeados de células y de sus apéndices, haciéndolos totalmente inaccesibles y reduciendo con ello las oportunidades del cerebro de alcanzar su complejidad.

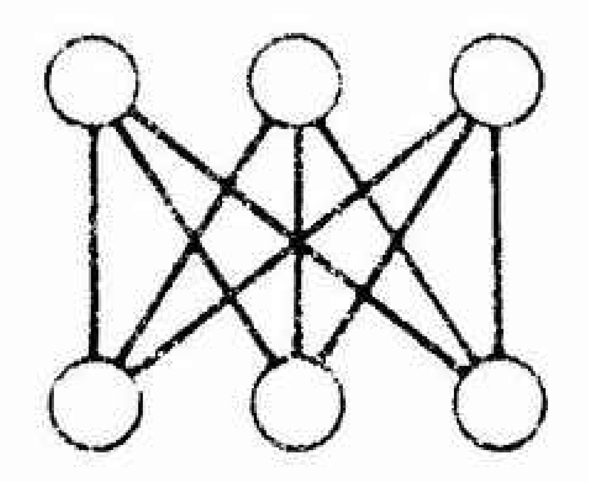
Las consecuencias deplorables son muchas. En primer lugar, los cerebros bidimensionales han de ser enormes. En vez de estar conectadas las células por fibras de unos pocos centímetros (como están dentro de nuestras cabezas) las conexiones pueden tener que serpentear por varios kilómetros para lograr una red de suficiente complejidad. El cerebro de un perro podría tener el tamaño de una ciudad.

El tamaño lleva consigo su propia complicación. La formación de cerebros depende no sólo de la disposición espacial de las conexiones sino también de la regulación del ritmo de las señales. Aunque puede que se desarrollaran redes espacialmente complejas, no llegarían a ser viables a menos que se introdujera aún más complejidad, en forma de áreas y pilas de retención, con el fin de regular los ritmos de llegada de los impulsos.

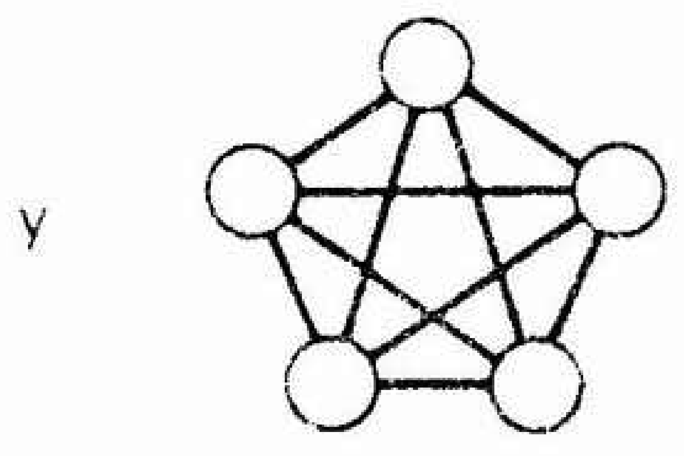
Recuérdese que una neurona se excita cuando ha acumulado una señal excitadora neta, compuesta de numerosas señales inhibidoras y estimulantes que llegan a las sinapsis (p. 48). El cerebro es una disposición y organización tanto temporal como espacial.

El tema de la permanencia es, en cierto modo, una vuelta al capítulo 2, en el que hemos visto que los mecanismos de la vida dependen de la potencia motora de reacciones interrelacionadas, y de la necesidad de incorporar alimento. Cada paso en el funcionamiento de un cerebro es una reacción química que puede ocurrir una sola vez cuando se dispara. Pero una vez que ha sucedido se ha de volver a armar, acoplándose a otra reacción que tienda a marchar en la dirección apropiada. Ésta, a su vez, se ha de rehacer una vez ha tenido lugar, y volvemos nuevamente a la necesidad de comer, y en último término a la de calentarse al sol. Por otra parte, la radiación podría suministrar energía a un cerebro electrónico bidimensional, algo que creo sólo podría ser preparado como un artefacto de una civilización biológica precedente (al menos dentro de los límites de un tiempo razonable). Una vez logrado, no hay ninguna razón determinada (dado que las neuronas puedan compactarse lo suficiente en dos dimensiones) para que el cerebro-2 bidimensional humano no se encoja a unos 36 m^2 y su perro-2 electrónico a unos 15 m^2 aproximadamente.

Las redes que no se pueden construir sin intersección son aquellas que tienen las estructuras[53]



y



Evidentemente, se pueden obtener estas redes si las conexiones entre neuronas se producen por radiación (pero pronto veremos que también en ese caso se presentan problemas), ya que la radiación puede seguir trayectorias que se corten.

Los cerebros deben ser drenados y alimentados. De alguna forma se ha de repostar a todas las células de un cerebro plano y se han de eliminar los desechos después de que hayan cedido su energía de calidad. No sólo las conexiones nerviosas tienen que hacerse paso sin cruces, sino que además toda la estructura tiene que estar cubierta por una red de líneas de abastecimiento y sumideros, sin que ninguna de ellas pueda cruzar o pasar por debajo de otra, puesto que no hay ni a través ni debajo.

Se podría eludir el problema haciendo valer el tiempo. Habría retretes y estaciones de servicio en lugares estratégicos en los que las células cerebrales podrían descansar y aprovisionarse; pero la eficacia de toda la estructura empeoraría muchísimo, y las células sólo serían capaces de participar en unos pocos pensamientos antes de tener que escurrirse entre sus vecinas en busca de renovación, como una oveja en medio de una manada apretujada.

La masa también impide la reproducción y retrasa la evolución. Tratándose de criaturas tan vastas, la evolución se parecería más a un nuevo replanteamiento imaginativo y a una renovación urbana. Tendría que desarrollarse una forma especialmente lánguida de reproducción, pues las cabezas apenas podrían moverse. Además, para evitar conexiones azarosas entre células y para tener una oportunidad de producir incluso un genio ligeramente competente entre poblaciones de vegetales, se requiere que la red esté cuidadosamente especificada. Los genes deben portar esa detallada especificación; pero también ellos son sólo bidimensionales y no pueden portar más que una información escasa. No sólo es improbable que emerja una complejidad organizada, sino que es probable que se degrade: la raza no sería inteligente ni estable y la inteligencia sería recesiva.

Si, a pesar de todo, un cerebro bidimensional hubiera logrado la forma de desarrollarse, carecería de la capacidad lógica de las criaturas de más dimensiones. La causa es que no toda red de conexiones en tres dimensiones se puede reproducir en dos dimensiones sin líneas que hagan lo impo-

Ya nos hemos referido a un análisis detallado de las conexiones nerviosas implicadas en la retracción de una branquia en el caracol *Aplysia*.[34] En la página 47 se puede ver un gráfico, algo simplificado, del circuito neuronal del reflejo de retracción. Si para que se retire una branquia se necesita esa complejidad, piénsese qué complejidad no se necesitará para retirar una promesa.

Las diferencias intrínsecas entre la propagación de ondas en espacios de dimensiones pares e impares pueden compendiarse de la siguiente forma.[54] Las ondas de un solo impulso (explosiones) en espacios de un número impar de dimensiones se propagan radialmente como impulsos agudos, cuya amplitud va disminuyendo, pero que mantienen abruptos sus frentes tanto inicial como final; no avisan de su llegada ni dejan rastro tras sí. En espacios de un número par de dimensiones, el impulso que se propaga mantiene su frente abrupto, de manera que tampoco avisa de su llegada, pero deja tras sí una estela o rastro, de forma que la perturbación persiste mucho después de haber pasado la cresta.

sible y, por tanto, se crucen. Incluso niveles de procesos cognoscitivos que son muy sencillos en tres dimensiones, como, por ejemplo, la retracción de una agalla, parecen implicar necesariamente mallas de conexiones que no se pueden formar en dos dimensiones sin un gran número de cruces inevitables y, por tanto, imposibles.

En los cerebros en tres dimensiones las dificultades desaparecen. Es posible disponer de una red copiosamente compleja de interconexiones dentro de un volumen reducido. Las cabezas ya no tienen por qué ser tan grandes que interfieran con la caza y la reproducción. Ya no hay ningún tipo de restricción en la complejidad de la red lógica que pueden desarrollar. Ya no es necesario destinar enormes fuentes de energía a introducir comida y a achicar desperdicios. La organización de las secuencias de señales es mucho más fácil de conseguir cuando las trasmisiones son casi instantáneas. El volumen del cerebro se puede dedicar ahora a conmutadores y no desperdiciarse en cables.

Se podría colegir, por tanto, que los cerebros tetradimensionales serían supercompactos y superbrillantes. Puede que fuese así, pero no se pueden construir nuevas mallas lógicas por el hecho de introducir una nueva dimensión y pasar de tres a cuatro (o incluso más) dimensiones. Lo que desmonta la brillantez de un cerebro tetradimensional es la turbia y confusa percepción de su mundo exterior.

Gran parte de la comunicación se realiza por medio de ondas. Hay ondas sonoras y hay toda la gama de ondas electromagnéticas responsables de la televisión, las comunicaciones y la astronomía. Una característica sorprendente de las ondas es que se comportan de forma muy distinta en espacios de un número par de dimensiones (2, 4, ...) y en espacios de un número impar de dimensiones (por ejemplo en el nuestro, de tres). En universos de dimensionalidad impar las ondas se propagan sin distorsionarse; en espacios de un número par de dimensiones se tornan borrosas. Mientras nosotros oímos "¡Bang!" como "¡Bang!", ya que la onda de choque, corta y nítida, recorre el aire sin difumi-

Pienso que vale la pena recordar que, mientras es concebible la aparición de cerebros inorgánicos (construidos al modo de computadoras) con sus conexiones en forma ya de conductores pasivos (alambres e incluso canales, pero no nervios) o de radiación, es muy poco probable que evolucionen espontáneamente, si bien en el caso de ser productos de un sistema biológico se los podría considerar como una forma generalizada de evolución. La complejidad se ha de ir acumulando en estratos cuando no es impuesta desde fuera por un proyectista, y los sistemas biológicos son, casi por definición, estratos en la adquisición de complejidad. En un nivel avanzado de este proceso, como es en el que nos estamos adentrando, puede ser posible deshacerse de la innecesaria profusión de andamiajes biológicos construyendo "artificialmente" algún elemento apetecido, como lo sería un cerebro sin piernas, dientes ni intestinos, de forma similar a como la evolución habitual nos ha dejado sin gran parte de nuestra pelambrera.

Recuérdese el concepto de cualidad de energía introducido en la página 32 y el orden de méritos de Dyson.[20] La luz es una forma de energía alta (entropía baja); el calor es una forma degradada (entropía elevada).

narse, un oyente bidimensional oiría "¡Ba...a...n...g...!". Aunque un cerebro tetradimensional podría ser superrápido y superlógico, percibiría el mundo exterior sólo de forma brumosa y estaría aislado de la información a causa de la mediación del espacio. Las especies serían, por naturaleza intrínseca, cortas de vista y duras de oído, y sus miembros estarían relegados a la introspección dentro de los límites de su propia individualidad.

Los cerebros pentadimensionales podrían ser supercompactos, relacionarse con otros y observar el universo con una claridad completa, pero no podrían evolucionar. Para ver por qué esto es así hemos de fijarnos en otro aspecto de la existencia.

Hagamos la hipótesis de que, para llegar a existir, la conciencia necesita plataformas estables moderadamente calientes, que no experimenten grandes variaciones de temperatura y de estado, y que se mantengan por períodos largos. La Tierra, si bien no es un paraíso, es al menos un paradigma.

Aunque puede que los planetas sean necesarios para la aparición del conocimiento y la conciencia, ellos solos no son suficientes. Un planeta ha de estar provisto de una cantidad suficiente de un moderado calor con el fin de retener la fluidez de su medio ambiente. Esta fluidez es necesaria para que las moléculas estén dotadas de la movilidad suficiente para explorar los senderos de la evolución. Dicho calor podría provenir del interior del planeta, y se puede pensar que la vida podría desarrollarse sobre la superficie de una estrella caliente. Pero el solo calor no es suficiente. La vida procede de cualidad (en el sentido del capítulo 2). No tiene objeto partir del calor, una forma degradada de energía, y esperar que impulse la evolución de la complejidad. Hemos de partir de la cualidad y vivir después su corrupción. En pocas palabras, para la vida necesitamos luz.

Un planeta lo suficientemente caliente como para ser una fuente de luz, y por ende una fuente potencial de vida, sería también un crematorio total: no podría sobrevivir nin-

La Tierra tiene una edad aproximada de unos $4,6 \times 10^9$ años. La vida empezó hace unos $3,5 \times 10^9$ años;[1] por tanto, se tardó más de mil millones de años en formar los organismos más elementales. Los primeros seres pluricelulares se formaron hace unos $0,6 \times 10^9$ (seiscientos millones de) años. Los mamíferos se formaron hace poco más de 200 millones de años (nótese la marcha acelerada). El simio homínido se convirtió en un hombre simiesco hace un par de millones de años, y el *Homo sapiens* ha estado por la Tierra al menos los últimos cien mil años. En conjunto, hemos necesitado casi cinco mil millones de años de un calor moderado para llegar a ser.

En tres dimensiones, una pequeña perturbación permite que la trayectoria circular sobreviva si el impacto no es excesivamente grande.[55] En espacios de más dimensiones el planeta se precipita sobre el centro de atracción o se escapa al infinito. Además, en esos espacios de más de tres dimensiones no se dan movimientos comparables al movimiento elíptico del espacio tridimensional, y todas las trayectorias tienen las características de las espirales. El mismo autor señala otro rasgo curioso del espacio tridimensional: el número de rotaciones es el mismo que el número de traslaciones (tres en ambos casos). En dos dimensiones hay una rotación (como un plato de gramófono) y dos traslaciones (a lo largo del eje de las *x* y de las *y*). En cuatro dimensiones hay seis rotaciones y cuatro traslaciones.

guna molécula compleja, por no hablar de los grupos de moléculas que se comportan como un cuerpo. Evidentemente, se puede hacer que las fuentes localizadas de luz se dirijan a la superficie de un planeta frío, pero, por lo general, esta obra de ingeniería depende de la inventiva y es, por tanto, una consecuencia de la vida y no su causa. Excepto en algunas civilizaciones y en algunos lugares, la luz tiene que venir de fuera del planeta; de ahí que los planetas necesiten soles para que se dé la vida en ellos.

Si un planeta ha de ser una plataforma para la aparición de la vida, ha de girar alrededor de su sol central sin mecerse tan cerca de él que se achicharren las nacientes formas de vida, ni tan lejos que se congelen. Las órbitas no han de ser erráticas, si la vida ha de tener una oportunidad de emerger y si las delicadas moléculas han de tropezar con una complejidad quebradiza y mantenida. Estas condiciones apropiadas y, por tanto, las órbitas estables deben permanecer por eones. Hallar criterios de la evolución del conocimiento se reduce, por consiguiente, a hallar criterios de la estabilidad de las órbitas planetarias.

Voy a hacer ver ahora que la conciencia es tridimensional. Esta opinión se basa en que sólo en tres dimensiones tienen las órbitas de los planetas una estabilidad duradera, y, por tanto, sólo en tres dimensiones hay tiempo y oportunidad de que se reúna una complejidad delicada hasta el punto de que pueda responder a su medio ambiente con la sutileza que nosotros, que lo experimentamos, denominamos *conocimiento.*

En los universos de dos dimensiones, como en los de cuatro y más, perturbaciones mínimas bastan para desplazar a los planetas de sus órbitas. El paso de un cometa puede enviar a un planeta a freírse en su sol o alejarlo para que se congele en el frío exterior. Pero la Tierra y otros planetas análogos, próximos a éste y otros soles, reaccionan al paso de cometas, de otros planetas, y a choques breves de otros tipos, y sobreviven. La libertad de movimiento que posibilitan las tres dimensiones de nuestro espacio es cabal-

mente suficiente, y no excesiva, para hacer que ajusten sus recorridos con habilidad y eviten un desastre. Evitados los desastres, queda la oportunidad de que se desarrollen individualidades y, luego, del autodesarrollo, hasta que, por causa quizá de una inclinación sanguinaria, la mezquina impertinencia local de las guerras desperdicie la ocasión.

El conocimiento y la conciencia son una propiedad de diminutos lunares sobre las superficies calientes de planetas benignos. Sobre nuestro planeta habían estado relegados, hasta este siglo, a la esfera de los individuos. Aquí y ahora (y presumiblemente a nivel cósmico, en otras partes en otros tiempos) los lunares están fusionándose por el desarrollo de la comunicación en una película global de conciencia y conocimiento que puede, andando el tiempo, extenderse por la galaxia y aún más allá. No se podría haber hecho realidad ninguno de estos potenciales de desarrollo de los movimientos coordinados de átomos en una capacidad de percepción y de inteligencia, si el universo hubiera aparecido desde su creación con otras dimensiones espaciales distintas de tres.

Ciertamente, la argumentación debería haber seguido el camino inverso. La dimensionalidad otorga al universo la oportunidad de desarrollar el conocimiento; el conocimiento no es una razón para que se dé una dimensionalidad determinada. El hombre, y sus análogos en otras partes, no son más que elefantes con cierta tendencia a la presunción. Nosotros somos fragmentos del universo, elefantes felizmente libres para vagar intelectual y espacialmente. En cuanto productos elaborados del mundo físico, y no más que eso, nosotros no somos más necesarios para su existencia de lo que lo es una brisa. Igual que el universo podría existir sin una brisa, podría también existir sin la propiedad del conocimiento.

Ello suscita la cuestión siguiente. Cuando un universo tropieza con su propia creación ¿vendrá necesariamente a la existencia con tres dimensiones? Si lo hiciera, tendría el potencial de desarrollar la cualidad de conocer que ha sido

Se han de distinguir estos otros universos de los otros universos a los que a veces se acude para encuadrar la explicación de la mecánica cuántica.[56] Tales interpretaciones burdas (no hablo del libro de Davies) suponen que este universo se rompe en cada acto de observación en duplicados ligeramente distintos. Me cuesta admitir que se hayan podido sostener seriamente unas ideas cosmológicas tan disparatadas; pero ahí están.

Los equívocos en torno a los nudos son casi inevitables incluso en tres dimensiones.

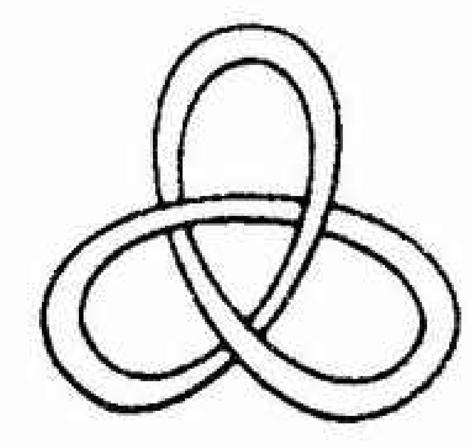
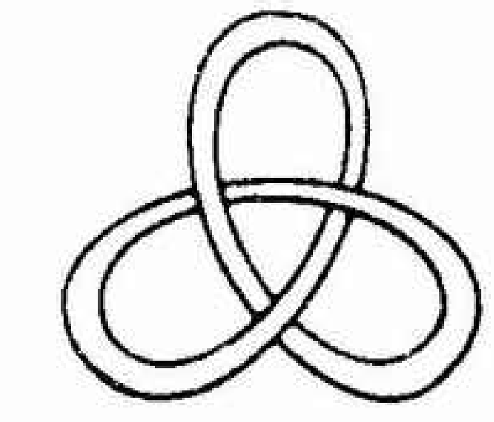
así (aunque factores distintos de su dimensionalidad podrían modificar, podríamos decir empeorar, el curso concreto de su evolución y no llegar a manifestar nuestro propio modelo de conocimiento). Si no tuviese necesariamente tres dimensiones, entonces otros lugares distintos pueden estar cubiertos con universos inconscientes, pero, con todo, existentes. ¿Estamos solos, en el sentido de que todos los otros universos estén muertos a causa de su dimensionalidad? ¿O todos los otros universos que pueden existir penetran e inundan otros lugares y otros tiempos, siendo todos ellos tridimensionales y potencialmente dotados de conocimiento?

Que existen otras inteligencias en este universo es, hoy por hoy, razonablemente cierto, pues lo que conocemos de la formación de las estrellas indica que es una característica común que les acompañen planetas. Que no existan otras inteligencias es tan improbable que no merece seguir ocupándonos de ello. Aquí nos ocupa el mismo problema, sólo que a escala cósmica; ¿sabemos lo suficiente sobre la formación de *universos* como para estar seguros de que existen otras formas de inteligencia fuera de este universo? ¿Estamos hipercósmicamente solos?

Así pues, ¿sobre qué base adoptaría un universo las tres dimensiones o cualquier otro número de ellas al empezar a existir? No tendremos en cuenta las razones basadas en intenciones, porque las consideramos superfluas. Por consiguiente, la razón debe estar en su aptitud para sobrevivir. Hemos de preguntarnos: ¿qué es lo que sobrevive en tres dimensiones y no en otras? Tenemos que buscar las razones de por qué el universo puede sobrevivir a su propia creación, y hemos de relacionar estas razones con su dimensionalidad.

Un ejemplo sencillo de algo que puede sobrevivir en tres dimensiones y no en otras es un nudo. En dos dimensiones ni siquiera puede hacerse, ya que no se puede pasar por arriba ni por abajo (pero ello no excluye la posibilidad de que los objetos bidimensionales lleven jerséis de lana). En

Se puede describir un nudo matemático como una cuerda anudada cuyos extremos están unidos de tal forma que no puede desanudarse.[57, 58] En tres dimensiones hay dos nudos básicos o fundamentales, y ninguno de ellos se puede transformar en el otro por deformación.

Las estructuras de dos componentes son de una importancia extraordinaria en la teoría cuántica.

La teoría de la estabilidad de los nudos se relaciona con el estudio de los *solitones*,[59] que proporciona también una descripción de la estabilidad de las cosas, como por ejemplo de las partículas,[60] en términos de la topología del espacio.

Esto es pura especulación y es demasiado impreciso para ser ciencia, pero creo que la idea de unos nudos insertos en el espacio y distorsionándolo de hecho o, lo que puede ser equivalente, generando localmente otros nudos que se propagan hasta que se hallan en la proximidad de otro nudo similar, que actúa entonces como una antena y responde al nudo que pasa, tiene semejanzas tan sorprendentes con las fuerzas conocidas y sus interacciones como para tener trazas de verdad. El cuadro es semejante a la explicación topológica de la interacción electromagnética.[8, 42] En esta explicación se considera al espacio como si estuviera lleno de lombrigueras con una entrada en un lugar y una salida en cualquier otra parte. Las líneas de fuerza electromagnéticas pasan luego por los agujeros. Un observador las ve desaparecer en un punto (y dice que tienen una carga de un signo) y aparecer en otra parte (y dice que tienen una carga opuesta). Otros tipos de fuerza se podrían considerar, pues, como otras tantas distorsiones topológicas del espaciotiempo.

cuatro dimensiones se pueden hacer marañas intrincadas, pero no son nudos y se disgregan). En tres dimensiones se puede anudar, mientras que en dos no se puede. En tres dimensiones los nudos pueden perdurar, pero no así en cuatro.

La permanencia de los nudos en tres dimensiones se parece tanto a la permanencia de las partículas, que sugiere que las partículas no son sino nudos en el espaciotiempo. Especies distintas de partículas son como especies distintas de marañas del espaciotiempo, y perduran en el tiempo porque las tres dimensiones del espacio eliminan la posibilidad de que se desenmarañen. Así pues, las estabilidades e identidades de las partículas se funden en la dimensionalidad: un espacio de tres dimensiones es el mínimo para la existencia y el máximo para la permanencia. En universos de otras dimensiones no sólo no habría ningún conocimiento (lo cual es agradablemente irrelevante), sino que ni siquiera habría materia.

Creo que ahora podemos empezar a ver el origen de las fuerzas. Un nudo de espaciotiempo, una partícula, está incrustado en el espaciotiempo, y su torsión tuerce localmente sus entornos, y esta torsión tuerce a su vez, y la curvatura se propaga a lo lejos. La gravitación, o la curvatura a la que llamamos gravitación, no es, pues, más que la consecuencia de la incrustación en el espaciotiempo de sus propios nudos. Cuanto mayor es la masa del objeto más abundantes son los nudos y, por tanto, es mayor su influencia a distancia. Nudos de un tipo determinado inducen distintos tipos de anudadura en el espacio próximo, y estos pocos nudos se propagan e interactúan con nudos semejantes en otras partes. Empiezan a emerger las fuerzas.

Sin embargo, la existencia de partículas y la permanencia de identidades no es una razón más poderosa en favor de las tres dimensiones que la existencia de elefantes y de inteligencia. A menos que podamos hallar otra razón para la emergencia de las tres dimensiones, tendremos que admitir la posibilidad de universos amorfos. En este punto sólo

Se han examinado las ecuaciones de la relatividad general en espaciotiempos de diferentes dimensionalidades.[61] En un espaciotiempo bidimensional podemos tener curvatura pero no materia (que implica una curvatura arbitraria), y en el espaciotiempo tridimensional el espacio ha de ser plano, lo cual implica que la materia no puede tener una interacción gravitatoria.

Las *ecuaciones de Maxwell* describen el campo electromagnético. Constituyeron el primer paso en la unificación de las fuerzas en la medida en que muestran que la electricidad y el magnetismo son intrínsecamente lo mismo. Se ha estudiado la singularidad de las ecuaciones de Maxwell en términos de la dimensionalidad del espaciotiempo.[62] Cierto número de observaciones indican por qué tienen prioridad las cuatro dimensiones. Por ejemplo, las ecuaciones de Maxwell tienen una simetría que sólo se pone de manifiesto en un espaciotiempo tetradimensional, y sólo en cuatro dimensiones se puede efectuar una determinada operación técnica sobre el campo electromagnético que puede también aplicarse al campo gravitacional. La investigación[62] se apoya en una observación hecha por Einstein: "Las ecuaciones gravitacionales para un espacio vacío determinan su campo con tanta precisión como lo hacen las de Maxwell". Se hace ver que esta observación sólo se cumple en cuatro dimensiones. El significado de este resultado parece ser que sólo en un espaciotiempo tetradimensional pueden reunirse en una teoría de campo unificado el electromagnetismo y la gravitación.

por prejuicios se puede negar su existencia. Tenemos que profundizar más.

Sabemos que la gravedad tiene propiedades que reflejan el número de dimensiones. Por ejemplo, si el espaciotiempo tuviera sólo una dimensión espacial (además de otra temporal), no podría haber materia, y el espacio podría adoptar curvaturas de cualesquiera magnitudes. Por otra parte, si fueran dos las dimensiones del espacio, la materia podría existir, pero el espacio implicado sería necesariamente plano, y, por tanto, los objetos no podrían actuar unos sobre otros. Sólo en un espacio tridimensional, un espacio como el nuestro, puede la materia no sólo existir sino también propagar su influencia tanto a sus vecinos inmediatos como a los distantes. La existencia de tres dimensiones posibilita que los miembros del universo se coordinen y estructuren en una entidad. En un espacio de menos de tres dimensiones o bien no tendrían ninguna forma o bien quedarían totalmente aislados para siempre.

En un universo de una simplicidad intrínseca, pero rico en propiedades, se requiere que haya una variedad de fuerzas. Sin embargo, una fuerza tan universal como la gravedad ha de ser compatible, en ese caso, no sólo con una fuerza tan universal como el electromagnetismo, sino también con todas las otras clases de fuerza que traban las cosas hasta formar elefantes. En cualquier otra dimensionalidad del espaciotiempo que no sea la nuestra, estas fuerzas parecen ser mutuamente incompatibles. Sólo en un espaciotiempo de nuestra dimensionalidad, tres dimensiones espaciales y una temporal, son compatibles las fuerzas con la existencia de la materia.

Tampoco es accidental la dimensionalidad del tiempo. Si el tiempo tuviera más de una dimensión, podríamos dar la vuelta en el tiempo como podemos darla en el espacio. Pero al tener sólo una, no tenemos más remedio que perseguir el futuro. La estructura de nuestro espaciotiempo asegura que las consecuencias de las acciones presentes se sitúen en el futuro; esto no sería así si el tiempo tuviera más dimensio-

Se ha estudiado la función del tiempo bidimensional y la conservación de la energía.[63]

nes. Los periódicos con un par de fechas no darían necesariamente información del pasado.

La desaparición de la causalidad y de la prioridad de las causas respecto de los efectos, dando lugar a que se desconecten causas y efectos, tendría un impacto mucho más fuerte que la confusión. Implicaría la muerte del ser. Como voy a seguir explicando, no podrían durar los periódicos con dos fechas, como tampoco sus lectores ni los átomos de sus lectores. Tener demasiado tiempo, en el sentido de tener más de una dimensión, es tan peligroso para la duración como tener demasiado poco.

Demasiado tiempo permite demasiada libertad, como la de impedir que cambie una clase especial de obstáculos. En concreto, permite la libertad de eludir las restricciones impuestas por la conservación de la energía. Lo cual tiene una cadena de desagradables consecuencias. La conservación de la energía implica la conservación de la materia; por consiguiente, si no se conserva la energía, tampoco la materia. Además, la conservación de la materia es la conservación de los pliegues y nudos del espaciotiempo. Por consiguiente, con la eliminación de la conservación de la energía va pareja la eliminación de la estructura del espaciotiempo. La conservación de la energía estabiliza al espaciotiempo contra un colapso; pero con otra dimensión del tiempo esta restricción desaparece, y al desaparecer desaparece también la materia. El universo se acabaría en un instante si el tiempo tuviera más de una dimensión. Superdotado de tiempo, no podría sobrevivir a su propia creación.

Mas ¿por qué hay tiempo? El tiempo no está aquí al servicio de nuestra comprensión; simplemente le sacamos partido avanzando, percibiendo, inevitablemente hacia el futuro. ¿Qué produjo el tiempo? ¿Por qué el universo empieza a existir con un tiempo y no simplemente como un espacio cuya existencia pende fuera del tiempo, libre de eternidad?

Empieza a aflorar una respuesta y es la siguiente. Si el

En el caso (+, +, +, −) el radio del universo puede empezar en cero, alcanzar su valor máximo en un período posterior y colapsarse después. En el caso (+, +, +, +) el universo se encamina hacia un radio mínimo, sin llegar a cero, o se aparta de dicho mínimo. No hay un tiempo en el que el radio del universo sea cero, y, por tanto, no hay ninguna "gran explosión" *(big bang)*.[64]

espaciotiempo careciera de tiempo y fuera en realidad un espacio tetradimensional, cuya geometría tendría $+ (ct)^2$ en lugar de $- (ct)^2$, entonces el avance en cualquiera de ambos sentidos por esa cuarta dimensión nunca llevaría al universo a un punto. Con nuestro tipo de tiempo se puede reconducir a todo el universo a un solo punto, y el universo tuvo un comienzo. Con ese tiempo alternativo semejante al espacio la historia del universo nunca habría tenido un comienzo identificable. Sin el tiempo, en nuestro sentido, no hay comienzo. Con un comienzo, en el sentido de que hay una creación puntual en algún punto del espaciotiempo, necesariamente hay una geometría con la característica del tiempo.

¿Dónde estamos? Hemos visto que el escenario de todos los eventos es el espaciotiempo, el espacio y el tiempo amalgamados, aunque diferenciados por la adopción de una geometría determinada. Las distorsiones locales del espaciotiempo, sus nudos, son las fuerzas y partículas fundamentales del universo y permanecen a causa de la dimensionalidad del espaciotiempo y de la peculiaridad de su geometría. Esa geometría determinada hace posible la estabilidad e impide la inmediata evaporación de un universo recién formado. Hemos visto que la existencia del tiempo es un compañero necesario de la creación, y trae consigo, como premio extra, las distinciones y diferencias propias de la causalidad. La causalidad hace al universo potencialmente comprensible y, aliada con las propiedades de la tridimensionalidad del espacio, lo pone en situación de ser realmente comprendido.

Las características del espaciotiempo, las que de verdad lo hacen estructuralmente estable, son también las que han permitido su evolución hasta el estrato en que aflora el conocimiento. Este conocimiento está ahora inserto en nosotros y en otros, y es lo bastante rico para ser capaz de transformar las simplicidades en arte y de simplificar las complejidades en ciencia.

Cuarta orientación

Hemos visto que materia y energía son espaciotiempo, y que la dimensionalidad del universo es tal, que no sólo permite que exista la materia sino también que perdure. El lento e interconectado despliegue de la creación inicial (que hemos argumentado que habría que considerarla como un colapso natural, espontáneo y no planificado, hacia una uniformidad dispersa y caótica) produce conocimiento y cosechas, planes y ollas, motivos y máquinas, y creencias e inteligencia como brotes efímeros. Esto es lo que nosotros, que somos algunos de los afloramientos perceptivos del universo, experimentamos como ser. Hemos visto que en la creación era necesario que se formara espacio y tiempo; después es capaz de desplegar, con nuestra conocida dimensionalidad, la riqueza de propiedades que nosotros percibimos como materia, energía y fuerzas, y de ser el escenario de los eventos, eventos de tal sutileza que en algunos lugares algunas cosas llegan a ser autoconscientes. En cierto sentido profundo, el propio espaciotiempo es autoconsciente.

El acontecimiento central de la creación es que el espacio y el tiempo empiecen a ser. Por eso vamos a ocuparnos ahora del problema de dar a conocer los procesos que lo hicieron nacer. En primer lugar habremos de pensar en algo a lo que se pudiese organizar en la forma de lo que ahora aceptamos como espaciotiempo. Echaremos después una ojeada a cómo podría permitirse que la mano tendida del creador infinitamente perezoso retirase el último toque de su asistencia. Se verá esfumarse la necesidad del creador. Y entonces, mientras el creador deja de participar, el universo empieza a ser, sin intervención externa alguna, a partir de la nada absoluta.

V. CREACIÓN DE COSAS

Retrocedemos ahora en el tiempo más allá del momento de la creación, a cuando y donde no había tiempo ni espacio alguno. De esa nada surgió el espaciotiempo, y con el espaciotiempo vinieron las cosas. Andando el tiempo apareció también el conocimiento; y el universo, que en un principio no existía, se hizo consciente.

Ahora bien, en el tiempo anterior al tiempo no hay sino extrema simplicidad. En realidad no hay nada; pero, para comprender la naturaleza de esa nada, la mente necesita alguna clase de apoyatura. Esto quiere decir que hemos de pensar, al menos por el momento, sobre algo. Así pues, no más que por el momento, pensaremos en *casi* nada.

Intentaremos pensar no en el espaciotiempo en sí mismo, sino en el espaciotiempo antes de ser espaciotiempo. Aunque no puedo precisar con exactitud lo que esto significa, trataré de indicar cómo se puede empezar a encararlo. El punto importante a tener en cuenta es que es posible concebir un espaciotiempo carente de estructura, y que es posible, tras alguna reflexión, formarse una imagen mental de ese estado geométricamente amorfo.

Parece que se debe a Wheeler[8] la idea de una pregeometría, de un polvo de puntos no estructurados. En lugar de un "polvo de puntos sin estructura" puede leerse "un conjunto boreliano de puntos que aún no se han reunido en una variedad de una dimensionalidad determinada".

La moderna discusión de los cambios de estado se hace en términos del *grupo de renormalización*, que puede tratar varias clases de sistema en cualquier número de dimensiones.[65]

Imaginemos que las entidades que están a punto de estructurarse en el espaciotiempo y, más tarde, en elementos y elefantes, son como un polvo sin estructura. Ahora bien, en el tiempo de que hablamos no hay espaciotiempo alguno, sino tan sólo el polvo del que se ha de formar el espaciotiempo. La ausencia de espaciotiempo, la ausencia de geometría, sólo significa que no se puede decir que tal punto está cerca o lejos de tal otro; ni se puede decir que esto precede o sigue a eso. En esas circunstancias se da un estado amorfo absoluto. Más tarde tendremos que barrer hasta el polvo; pero ésta, como todas las simplicidades, se cuidará de sí misma.

Antes de seguir adelante quiero indicar algo acerca de algunos cambios como la congelación, la ebullición y la sublimación del hielo, así como sobre su relación con los dibujos de los papeles de empapelar. La velocidad de tales cambios depende de la dimensionalidad del espacio en el que tienen lugar. En un universo monodimensional una gota de agua no se congelaría rápida y bruscamente, sino que se solidificaría poco a poco como la mantequilla cuando desciende la temperatura. En dos dimensiones la congelación sería algo más rápida, y más aún en tres dimensiones. Se puede estudiar la velocidad de este tipo de cambios en espacios de diferente número de dimensiones (e incluso en espacios de dimensiones fraccionarias). Se puede ir siguiendo la rapidez de estos cambios a medida que aumenta suavemente el número de dimensiones: de una, una y media, dos, tres, hasta cuatro o más dimensiones. En cuatro dimensiones la rapidez alcanza un máximo, y a partir de ahí permanece prácticamente inalterable.

La rapidez de cambios como los que estamos considerando proviene de la colaboración de los vecinos. Cuando una molécula tiene muchísimos vecinos, todos ellos colaboran en su reorganización en un nuevo tipo de material, como sucede al pasar de líquido a sólido en la congelación, y el cambio se realiza con rapidez. Al aumentar el número de dimensiones, aumenta también el número de objetos en

Se han descrito[66, 67, 68] los siete modelos de frisos, las 17 pautas de papel de empapelar y los 230 grupos espaciales en espacios de tres o más dimensiones.[69]

Se ha hecho una descripción de la creación como un cambio de estado.[70] El artículo muestra, y éste es su principal aliciente, cómo pudo haber empezado el universo con cantidades iguales de materia y antimateria, y haberse desarrollado luego tan asimétricamente que ahora el universo sólo se compone de materia. En el artículo se expresa de esta forma (p. 41): "Uno puede especular que el universo empezó en el estado más simétrico posible y que en tal estado no existía materia alguna; el universo era un vacío. Un segundo estado era posible, y en él existía materia. El segundo estado, ligeramente menos simétrico, poseía también menos energía. Andando el tiempo, apareció una zona de la fase menos simétrica y creció rápidamente. La energía liberada por la transición tomó forma en la creación de partículas. Este suceso podría identificarse con la gran explosión *(big bang)*".

la proximidad inmediata de un punto. Y el resultado es que las transiciones se aceleran. Pero en cuatro dimensiones cada punto tiene tal cantidad de vecinos que cualquier aumento ulterior carece de importancia. Al aumentar la dimensionalidad ha ido aumentando la complejidad, y esta complejidad es, en la práctica, perfecta cuando la dimensionalidad ha llegado a cuatro.

Podemos formarnos cierta idea de lo rápidamente que aumenta la complejidad con la dimensionalidad pensando en los dibujos. Un espacio monodimensional es como un friso, y resulta ser que sólo hay siete tipos básicos de pautas; se puede clasificar en uno de estos siete tipos a todos los frisos que se hayan hecho alguna vez. Un modelo bidimensional es como un papel de empapelar. Hay diecisiete pautas distintas de papel pintado. Evidentemente, los *diseños* son muchísimos más, porque se puede desarrollar de múltiples formas la simetría básica de las diecisiete pautas con flores, pavos reales, formas y colores de varios tipos. Pero se puede incluir toda la gran diversidad de diseños en una de las diecisiete clases. La mayor complejidad del espacio bidimensional queda reflejada en el paso de siete a diecisiete. ¿Y en un espacio tridimensional? Hay 230 pautas tridimensionales diferentes. Otra forma de expresar esto es decir que hay 230 tipos básicos de cristales; 7, 17, 230, ... El número de pautas en cuatro dimensiones es de unas cinco mil. Se puede ver cuán explosivamente crece esta serie y que en cuatro dimensiones se da una complejidad mucho mayor de pautas posibles.

La creación fue como la congelación del agua. En la creación, el polvo de puntos carente de estructura se transformó en la ordenación que reconocemos ahora como espaciotiempo. El espaciotiempo es tetradimensional, porque cada punto está así en una vecindad de la suficiente complejidad como para tener abundantes propiedades; propiedades que corresponden a lo que ahora reconocemos como partículas y fuerzas, y propiedades que tienen la consecuencia de conferir estabilidad. Además, las pautas (los

nudos) están atrapados en la permanencia por las tres dimensiones del espacio y están dotados de consecuencias para el futuro a causa de la monodimensionalidad del tiempo.

El espaciotiempo emergió de su propio polvo por azar. No hubo ninguna necesidad de ninguna intervención. Antes de formarse el tiempo y el lugar había puntos no relacionados, puntos que aún no estaban interrelacionados. Carecían, pues, de una geometría y, por consiguiente, no eran aún espaciotiempo.

Pensemos el polvo originario como arremolinándose y pululando momentáneamente en cúmulos. En un principio no hay ninguna relación entre los puntos: no se puede decir que este punto es contiguo a ese otro, o que un punto precede a otro, pues la proximidad y la prioridad no tienen todavía sentido.

Los puntos que se arremolinan se pueden acumular en cantidades suficientemente grandes como para que se establezcan, al menos local y temporalmente, relaciones (pautas, nudos). Unas veces puede formarse un lunar de esta geometría fuera del tiempo; alguna vez puede que haya un lunar de tiempo existiendo efímeramente fuera del espacio. Algunas veces pueden aparecer lunares de puntos modelados en regiones de espacio y tiempo y desparramarse después.

La posibilidad de que se constituya un lunar de un espacio de doce dimensiones y un tiempo de quince dimensiones es poco probable. Tal espaciotiempo es muy poco probable que se mueva hacia la existencia, ya que es enorme el grado de organización exigido para establecer una estructura tan compleja sin ayuda. Pero por azar puede fulgurar la existencia de una tira monodimensional de espacio o de tiempo (en una dimensión son indistinguibles). Esta existencia surge por ordenación casual y fortuita de los puntos hasta ese momento no relacionados, al igual que el polvo real podría volar formando una recta en el aire. Y, como el polvo real, se desmorona, pues, con su baja dimensionali-

No está del todo claro qué papel desempeña en esta discusión el término *poco probable*. Ciertamente, se puede reexpresar como "baja frecuencia estadística", y así se hace, por ejemplo, en el libro *Gravitation*;[8] pero si de verdad estamos fuera del tiempo, entonces resultará que cualquier suceso ocurrirá, cualquiera que sea su probabilidad, mientras no sea absolutamente imposible. Si esto es así, entonces se crean universos "a cada instante" y el número de universos es infinito y se expanden con una velocidad infinita. Por más que sea amplia, esta escala de especulación no es, por supuesto, el límite.

dad, hay escasez de vecinos y una concomitante falta de riqueza en sus propiedades. El fugaz universo monodimensional, que engendró el azar, se desintegra, y su incipiente estructura retorna a la ausencia de estructura.

Por todas partes (aunque no existe todavía ningún dónde) y en cualquier momento (aunque no existe en ninguna parte ningún ahora) el polvo del espaciotiempo resulta configurarse en diminutos universos de una dimensión. Pero tan pronto como resplandecen a la existencia no consiguen sobrevivir y desaparecen sin dejar huella. Se forman un gran número de tales universos que nacen muertos. Constituyen un lugar o establecen un instante determinado; pero no tienen éxito, se desintegran y mueren sin historia.

La emergencia efímera e intermitente de un universo incipiente se puede representar como un encontrarse, fortuito y sin propósito, de puntos en una pauta. Entre ese gran número de brotes casuales hay uno o dos (o un gran número, pero siempre pequeño en comparación con el total) grupos menos probables y más complejos que constituyen un universo bidimensional. Muchos universos de esta inmensidad menos probable tienen la fortuna de agruparse en una forma que define un espacio bidimensional sin tiempo, y, por tanto, son superficies sin duración. Otras se agrupan, y de nuevo por azar, en un verdadero espaciotiempo bidimensional con una línea de espacio y una dirección de tiempo. Pero les falta todavía la complejidad suficiente para sobrevivir. No tienen más probabilidad de sobrevivir que la que pueda tener un enjambre de partículas de polvo danzando en un rayo de sol, que momentánea y transitoriamente forman una cortina. Estos universos se forman y se están formando ahora fuera de nuestro peculiar espacio y tiempo. Con todo, no están destinados a perdurar. Tal como vienen se van. Se hunden en el polvo sin estructura del que el azar logró casualmente moldearlos. No dejan ninguna huella en el espacio ni en el tiempo, pues ellos formaban su propio espacio y determinaban su propio tiempo, y al morir muere con ellos su espaciotiempo.

Fluctuaciones a pequeña escala en la geometría del espaciotiempo tienen lugar a nuestro alrededor (y en nuestro interior).[64] En todo momento y en todo lugar la geometría del espaciotiempo se está desmoronando y reformando, pero tiene lugar a una escala tan pequeña que no nos percatamos de ello. La escala de longitud en que las fluctuaciones son significantes es la de la *longitud de Planck*, $1,6 \times 10^{-33}$ cm. Ello evoca, en expresión de Wheeler,[64] el "carácter espumoso del espacio".

Éste es el objeto de la física del futuro. El cuadro que trazo aquí es vago porque es una especulación acerca de la forma que tendrá la solución final del problema de la creación. Si bien es posible ser preciso y, con un poco de suerte, hasta lúcido cuando se trata un concepto establecido (porque hay algo que comprender y, por tanto, que trasmitir), no se puede menos que ser vago al tratarse de sucesos que preceden a la creación, puesto que no han sido establecidos cuantitativamente.[71, 72] Sin embargo, hay razones por las que sería injusto considerar estas observaciones absurdas e impropias de la ciencia. Ante todo, ha de haber algún tipo de mecanismo de la creación y del comienzo de la existencia. Lo que estamos tratando de expresar con estas observaciones es que existe la *posibilidad* de dar una explicación de la creación y de los sucesos que la precedieron. Con todo, sólo lo habremos conseguido cuando esta posibilidad haya sido expresada cuantitativamente. Presiento que, cuando esto se consiga, la forma de exponerlo seguirá las líneas trazadas en estas páginas. En cierto sentido esto es tan sólo una intuición, pero que no contradice el impulso global de la ciencia moderna.

Los universos monodimensionales eran pautas improbables de puntos. Los universos bidimensionales eran pautas aún menos probables de los mismos puntos en relaciones algo más ricas, aunque no lo suficientemente ricas. Mucho menos probable aún es el acumularse casual que lleva al espaciotiempo de tres dimensiones. Mas este espaciotiempo es todavía estructuralmente demasiado endeble. Los puntos tienen más vecinos que cualquier punto de los dos universos antecesores más probables (los cuales, al estar fuera del espacio y del tiempo, una vez se han esfumado no son verdaderos antecesores, y se están formando y desapareciendo en otro lugar y en otro ahora). Pero al no tener todos los suficientes no pueden sobrevivir a su propia formación. Ondean un momento fuera del polvo, no duran estructurados más tiempo del que puede durar estructurada una nube de polvo, y vuelven a desintegrarse en polvo. Aparecen, por azar, un gran número de tales universos tridimensionales, y han vuelto de nuevo, por su pobreza estructural, al polvo.

Después (sea lo que fuere lo que esta palabra significa), por azar, un enjambre de los puntos se encontró inesperadamente con una pauta de una tal complejidad que corresponde a cuatro dimensiones; pero eran cuatro dimensiones espaciales y les faltaba el tiempo. Este universo es rico en complejidad de interrelaciones, pero no lo suficientemente elaborado como para sobrevivir. Como mucho otro polvo, el cúmulo casual se descompuso en el polvo sin estructura.

No hubo que esperar a otra pauta tetradimensional, porque fuera del tiempo no hay espera. Una de estas pautas era un espaciotiempo tetradimensional. Sabemos que de hecho sucedió al menos una vez. Podemos también sospechar que sigue sucediendo fuera de nuestro espacio y tiempo; pero nuestra ondulación particular de polvo es la que tiene consecuencias para nosotros. Esta fluctuación particular fue el encontrarse los puntos con la pauta que nosotros conocemos como tres dimensiones espaciales y una temporal. Por azar.

Se ha sugerido que se puede considerar la existencia del espaciotiempo y la naturaleza de la geometría como una física que surge de la estadística de las proposiciones largas.[64] Esta idea subyace a las observaciones sobre "relaciones": la posibilidad de enlazar entidades en redes autoconsistentes. Las partículas son, en ese caso, las autoconsistencias permisibles, siendo las redes los nudos del espaciotiempo. Esta red lógica sólo puede tener la suficiente riqueza (y estabilidad) si el espacio tiene tres dimensiones y una el tiempo. En el apéndice citado los autores admiten no haberlo conseguido, pero eso no significa que la idea sea errónea.

La fluctuación, de la cual nosotros somos una ramificación, era tetradimensional y, por lo tanto, era rica en complejidad en cada entorno. Su geometría era, además, una geometría de espaciotiempo. Por eso era apta para soportar y sustentar la complejidad de relaciones que nosotros interpretamos como materia y fuerzas. De pronto, por casualidad, tenemos un universo que es una colección de relaciones viables. Las relaciones son suficientemente sutiles y complejas como para que la fluctuación alcance estabilidad. En vez de desvanecerse como todas las otras improbabilidades, esta extrema improbabilidad se congela en la existencia. Este universo determinado sobrevive. Es un germen de la organización de todo el espaciotiempo. Se nos ha venido encima. El universo ha comenzado. Al azar.

Mas ¿qué son esos puntos? ¿De dónde vienen? ¿Fueron hechos o emergieron? ¿Es aún necesario hacer algo? ¿Es inasequible la indolencia infinita?

Nos hallamos en el meollo de la creación. Pero necesitamos otro concepto más; un concepto capaz de explicar la emergencia de las cosas a partir de la nada. Pienso que es captable y querría intentar exponer cómo se lo puede comprender.

La clave del concepto está en fijarse en la anulación de contrarios. Si se piensa que la aniquilación se invierte, entonces los contrarios se desprenden de la nada. Se puede imaginar que el mundo se forma en una de esas destilaciones. En el momento de la creación la nada se divide, en cierto sentido, en opuestos extremadamente simples. Si la separación genera una pauta suficientemente compleja, los opuestos adquieren estabilidad y perduran después ferazmente.

Un ejemplo de este comportamiento, tomado de nuestro mundo, es la existencia de materia y antimateria. Al colisionar una partícula y su antipartícula se convierten en algo que esencialmente es nada, una burbuja de energía; una partícula y su antipartícula se pueden formar a partir de algo que esencialmente es nada. El universo presente bu-

Cito un fragmento del apéndice antes mencionado: "Es difícil imaginar un elemento más simple con el que pudiera empezar la construcción de la física que la elección entre sí o no, entre verdadero o falso, o entre circuito abierto o cerrado. El resultado de la combinación de estos elementos es uno. [...] Es isomorfo con un enunciado en el cálculo de enunciados de la lógica matemática. [...]".[64]

Puede que ésta sea la razón más profunda de que se pueda describir matemáticamente el universo: la matemática es un sistema de lógica y, si esta concepción de la naturaleza última del universo es correcta, entonces no debería sorprender que se pueda acudir a la matemática para describirlo. En cierto sentido, la matemática remeda la estructura última. Una fórmula escrita en una página es una expresión de un grupo determinado de relaciones insertas en la estructura del espaciotiempo.

La descripción de las antipartículas en términos de partículas que evolucionan hacia atrás en el tiempo[73] fue introducida por E. C. G. Stückelberg y desarrollada por R. P. Feynman. Se ha insinuado que la razón por la que cada electrón del universo es idéntico se debe a que sólo hay uno, y que nosotros percibimos una sección transversal de su traza al ir adelante y atrás en el tiempo, y pensamos, por tanto, que son muchos. Esta observación se atribuye a J. A. Wheeler en el curso de una conversación telefónica con R. P. Feynman (o viceversa).[74] Estas audaces especulaciones, independientemente de su verdad, compendian la actitud científica, si no su método.

lle con esta clase de actividad, con energía (espaciotiempo arrollado) que genera partículas y antipartículas, las cuales vuelven a transformarse en energía.

La creación, hemos insistido, no puede producir espontáneamente unas complejidades ya acabadas, tales como partículas y sus antipartículas (por no mencionar a los elefantes y sus antielefantes). La creación sólo puede generar las estructuras más primitivas, estructuras de tal simplicidad que puedan desprenderse de lo absolutamente nada. Todavía no hemos hallado lo más simple.

Lo más simple se compendia (no veo cómo aplicar un término más fuerte) en la diferencia entre punto y no-punto, o entre uno y menos uno. En el fondo, la base del universo debe ser tan simple como la diferencia simbolizada por 1 y −1, o por sí y no, o (más prosaicamente) por verdadero y falso. Los elementos fundamentales del conjunto de la creación deben tener esta sencilla y simple forma binaria. Nada más simple que eso tiene propiedades. Sólo la diferencia simbolizada por 1 y −1, por uno y no-uno, o punto y no-punto, es suficientemente simple como para poder ser creada, y lo bastante rica, si está suficientemente trabada (como en las matemáticas y en la lógica), como para llevar a propiedades. En su raíz el universo es un polvo de formas binarias. Éste es el polvo del espaciotiempo.

Pero ¿qué es lo que da existencia a la distinción de los opuestos?

Deseo hacer una última y muy importante aclaración antes de intentar reunir en forma coherente todo lo dicho y ofrecer una visión de conjunto. Esta aclaración concierne a una función especial del tiempo: el tiempo distingue los opuestos.

Podemos aproximarnos a este concepto considerando una vez más la materia y la antimateria. Una partícula y su antipartícula se distinguen por su sentido de propagación en el tiempo. En lugar de pensar en partículas y antipartículas como especies separadas, si bien sospechosamente

Evidentemente, yo no quiero decir que, de repente, puedan surgir de la nada un elefante y un antielefante. Por esta razón he subrayado lo importante que es buscar simplicidades. Las entidades de *suma* simplicidad pueden ser lo suficientemente simples como para surgir de la nada de un modo que aún hemos de examinar.

La composición de un espaciotiempo a base de entidades discretas, compuestas de dos elementos (la emergencia de una geometría), es la base de la *teoría del torsor.*[75]

muy emparentadas, podemos pensar que una antipartícula es el duplicado de su partícula desplazándose hacia atrás en el tiempo. Un electrón se mueve hacia adelante en el tiempo; un antielectrón es un electrón que se mueve en sentido inverso en el tiempo.

Los opuestos, al menos los de especies simples, se distinguen por el sentido en que se mueven en el tiempo. Esto significa que tan pronto como tenemos tiempo tenemos la posibilidad de distinguir los opuestos que, cuando no hay tiempo, se funden en la nada.

Ahora sí que estamos en el centro del meollo mismo. Quizá hayamos rebasado el borde, pero es más posible que estemos a este lado del borde de la comprensión. Pienso que podemos ver los primeros estadios del autoinicio del mundo.

Hay dos componentes. Primero necesitamos los puntos que se han de congregar en pautas que definan el espacio y el tiempo. Luego necesitamos los puntos que se separan de sus opuestos en virtud de la pauta del tiempo. El tiempo presta vida a los puntos; los puntos prestan vida al tiempo. El tiempo hizo existir a los puntos y los puntos hicieron existir al tiempo. Así es como el universo se aúpa tirando de sus propias orejas.

Querría intentar expresar esta idea escurridiza (al menos *yo* la encuentro escurridiza, pero comprensible) de una manera ligeramente distinta. Hemos representado los opuestos por los símbolos 1 y -1. Como ya hemos indicado, se puede considerar que representan un punto y su ausencia, o cualquier otro par de opuestos suficientemente simples. 1 y -1, en la medida en que simbolizan opuestos, se distinguen por el sentido en que se desplazan en el tiempo: -1 es 1 moviéndose en el tiempo en sentido inverso. Si no hay tiempo, 1 y -1 se funden en..., bueno, pues en $1 - 1 = 0$, o lo que es lo mismo, en nada.

La especulación central, escurridiza si bien captable, es ésta: el universo empieza a existir por virtud de una autorreferencia. Hemos mostrado que 1 y -1, los puntos y sus

ausencias, constituyen el tiempo y el espacio cuando están adecuadamente dispuestos. Pero para existir y empezar a ser, punto y no-punto necesitan el tiempo, pues el tiempo les separa, los distingue y los induce de la nada. Ahí está la autorreferencia central: la emergencia del tiempo a partir de su polvo; polvo hecho existir por el acto de estructurar el tiempo.

En una palabra, ésta es la especulación central: el espaciotiempo genera su propio polvo en el proceso de su propia autocongregación. El universo puede emerger de la nada, sin intervención alguna. Por azar.

Quinta orientación

He argüido que no hay ninguna necesidad de considerarnos a nosotros mismos otra cosa que las ramificaciones del azar. El universo pudo haber tropezado con su propia existencia como otros universos quizá continúan hallándola fuera de nuestro espacio y de nuestro tiempo, definiendo su propio espacio y su propio tiempo. He intentado mostrar cómo la inestabilidad hacia una estructura que poseyera bastante complejidad para ser estable fue un tropezón que no tiene por qué implicar una intervención. Nos ha producido a nosotros (y andando el tiempo se ocupará de aniquilarnos). Podemos incluso empezar a discernir cómo pudo provenir el universo de la nada absoluta cuando el tiempo indujo (por azar) su propia existencia.

Éste es en realidad el final de nuestra expedición. Hemos retrocedido al tiempo anterior al tiempo y hemos seguido las huellas del creador infinitamente perezoso hasta su guarida (en donde, por supuesto, no está). Hemos visto, por más que sin una gran claridad, cómo empiezan a ser las cosas a partir de la nada. En un sentido amplio hemos explicado la naturaleza del ser en términos de la naturaleza del espaciotiempo y las consecuencias interdependientes de su despliegue a medida que colapsa, sin un plan u objetivo, en el caos. Estamos en mitad de ese despliegue.

Podemos recopilar ahora estas especulaciones y pasar con la imaginación por esa media eternidad. Empezaremos antes del principio, nos permitiremos una especulación sin límites y seguiremos el vuelo del universo más allá de su futuro.

VI. COSAS CREADAS

En el principio está el comienzo.

En el comienzo no había nada. El vacío absoluto, y no simplemente un espacio desocupado. No había espacio; ni había tiempo, pues era antes del tiempo. El universo carecía de forma y estaba vacío.

Casualmente se dio una fluctuación y hubo un conjunto de puntos que, emergiendo de la nada y tomando su existencia de la pauta que formaron, determinaron un tiempo. La formación azarosa de una pauta concluyó en la aparición del tiempo a partir de los opuestos fundidos, su emergencia de la nada. De la nada absoluta, sin absolutamente ninguna intervención, empezó a ser una existencia rudimentaria. La emergencia del polvo de puntos y su organización casual en el tiempo fue la acción fortuita e inmotivada que los hizo existir. Los opuestos, las simplicidades sumas, emergieron de la nada.

Sin embargo, la línea del tiempo se derrumbó, y el incipiente universo se esfumó, pues el solo tiempo no es bastante rico para existir. Tiempo y espacio emergieron en otras partes, pero también se desmoronaron y volvieron a

su propio polvo, a la fusión de contrarios, es decir, a la pura nada.

Las pautas siguieron emergiendo una y otra vez. En cada ocasión la pauta configuró un tiempo y los puntos, a causa de su estructuración en un tiempo, indujeron su propia existencia. En ocasiones el azar les llevó a formar un modelo de dos dimensiones de lo que nosotros llamaríamos tiempo, pero no se distinguían los contrarios, porque, en ese caso, se podría ir de adelante a atrás en el tiempo. No había estabilidad, y los contrarios se volvieron a fusionar en la nada.

A veces el azar modeló puntos en un espacio y en un tiempo; pero no había lugar para la complejidad, y la posibilidad del modelo se desvaneció. No pudo retener el tiempo, y al perder el tiempo perdió su existencia.

Después se produjo, por azar, nuestra fluctuación. Los puntos empezaron a existir formando un tiempo pero, esta vez, en esta pauta, el tiempo vino acompañado de un espacio tridimensional. Nació una geometría compleja y refinada. Su complejidad proviene de la densidad de sus entornos y le otorga la complejidad suficiente para la existencia de la materia, la energía y las fuerzas; y con ellas llega la estabilidad, más tarde los elementos, y todavía más tarde los elefantes. Nos percatamos de que esta fluctuación sobrevive.

La generación inicial del espaciotiempo lo dejó arrollado y torcido. Las torsiones locales en forma de nudos permanentes son las partículas, que ahora configuran cosas tales como los elefantes. Especies diferentes de partículas son especies diferentes de nudos en la estructura del espaciotiempo. Nudos diferentes son agrupaciones diferentes (como los nudos corrientes son anudaciones diferentes de una cuerda) de las entidades binarias que empiezan a existir con la creación. Partículas diferentes son, por tanto, estructuras topológicas diferentes del espaciotiempo. El hecho de insertar estas estructuras locales en el espaciotiempo tiene consecuencias en zonas distantes. En especial,

induce el fenómeno de la gravitación, la torsión global del espacio tiempo.

El universo tiende a alcanzar una uniformidad global, una llanura tridimensional. La energía, que incluye a la materia, es espaciotiempo arrollado. El espaciotiempo arrollado es el muelle del universo, y nuestras actividades, como toda otra actividad, son aspectos de su desarrollo. La evolución del universo es la dispersión de las ondulaciones del espaciotiempo.

Puede haber dos finales del futuro.

En uno, los nudos se sueltan y se desatan, se disipan sus ondulaciones locales y el espaciotiempo, en su momento, se hace uniforme y eternamente plano en todas partes. El universo sigue existiendo, pero está des-arrollado. Carece de actividad y está uniforme e irrecuperablemente muerto.

En el otro, puede haber tantos nudos locales y desatarse tan lentamente que su torsión distante, completa y combinada, enrolla de nuevo el universo en un punto, quizá para volver a estallar de nuevo. Este rebote no es una creación sino una renovación. De hecho puede que ahora mismo estemos viviendo en un universo renovado, habiendo tenido lugar la auténtica creación muchas generaciones de universos atrás. Puede que esa sucesión de universos reconstituidos sea ininterrumpidamente eterna, pero en el pasado remoto tuvieron que haber brotado una vez de una auténtica creación (a no ser que el tiempo sea circular).

Y por último está el presente.

Nuestro universo está actualmente vivo. Su vida (su actividad en todas sus formas) está posibilitada por el equilibrio de las intensidades de las fuerzas que rigen el movimiento, que configuran los átomos, y que agrupan los átomos en elefantes y galaxias.

Están las fuerzas más profundas de todas, las fuerzas que cohesionan los componentes más básicos del mundo discernible, los quarks. Los quarks, o al menos sus supuestos componentes, parecen carecer de una estructura más profunda, lo cual nos permite empezar a creer que la cebo-

Existen los pares quark y antiquark, y transmiten la interacción fuerte. Pero sólo se han observado ternas de quarks (o de antiquarks). Ya no se pone seriamente en duda la existencia de los quarks: experimentos con protones han puesto de manifiesto que tienen una estructura interna que se comporta como si fueran tres quarks. En particular, parece que los quarks se comportan como puntos sin dimensiones (igual que el electrón);[7, 19, 76] hay especulaciones sobre su estructura interna,[77] que, de ser ciertas, eliminarían del universo la asimetría materia/antimateria.

En realidad no se ha progresado nada con la deducción de los valores de las constantes fundamentales. Ello pudiera querer decir que no hay ningún progreso por hacer, como no se puede progresar explicando el valor del factor π de conversión de un radio en una circunferencia (pero, evidentemente, sería un progreso mostrar que intrínsecamente eran parámetros topológicos). Muchos han sido los que han logrado hallar combinaciones de π que dan casi el valor experimental exacto de α, pero resulta que estadísticamente hay muchos caminos de construir números muy cercanos a 1/137,0360.

La expresión más simple de α, que refleja también el valor experimental hallado en 1980 (con siete cifras significativas), es $1/\sqrt{137^2 + \pi^2}$, pero que pudiera ser muy bien una coincidencia. El problema puede ser semejante al de "explicar" el valor de la razón áurea,[78] $\varphi = 1/2\,(1 + \sqrt{5}) = 1{,}61803$.

lla no tiene ya más capas. Son existencia sin extensión. Se presentan invariablemente en grupos de tres, y la fuerza que hay entre ellos los cohesiona tan firmemente que la esperanza de separarlos parece tan remota como la de separar las tres dimensiones del espacio: puede que ésta sea, de hecho, la razón de su inseparabilidad. Con los quarks nos hallamos, o casi nos hallamos, ante la manifestación primigenia de la concatenación subyacente de las formas fundamentales; y desacoplar tres quarks puede ser lo mismo que desacoplar el espacio.

Hay también otras fuerzas. Está la gravitación, que actúa entre todas las cosas (entre núcleos de energía y de materia lo mismo que entre distintos agregados de materia) y que tenuemente, si bien ineludible y ubicuamente, mantiene unido el universo en una entidad. Está también la fuerza eléctrica, que liga débilmente los electrones a los núcleos y forma átomos, esas estructuras delicadas que tienen la capacidad de respuesta y la maleabilidad adecuadas para la evolución de la sutil propiedad de la vida. Están también las interacciones fuertes y las débiles, las fuerzas que actúan entre las partículas elementales, entre los nudos fundamentales del espaciotiempo.

El equilibrio de las intensidades de estas fuerzas es crucial para la aparición de la vida consciente, aunque puede que otros universos extraños y no-inteligentes se amontonen en el vacío y tengan tan poca finalidad como el nuestro.

Si las fuerzas que cohesionan los núcleos fueran ligeramente más débiles, o algo más fuertes, el universo carecería de una química; y no habría vida, que aparentemente es biología pero que en realidad es física bajo la forma de química. Si la fuerza eléctrica fuera algo más fuerte de lo que es, el Sol se habría extinguido antes de que la evolución hubiera llegado a formar organismos. Sólo con que hubiera sido un poco más débil, las estrellas no tendrían planetas y no se conocería la vida.

Que surgiera un universo como el nuestro, cabalmente

Como ya hemos dicho, la cuestión de si el universo es abierto o cerrado es en sí misma una cuestión abierta, si bien se va tendiendo a pensar que es cerrado. Esto encajaría mejor con la concepción de que en la creación se generó una cantidad finita de materia. Un universo abierto, eterno, tendría también una extensión espacial infinita en todo momento, incluido el de su comienzo.

con la precisa combinación de fuerzas, puede tener un aire milagroso y, por consiguiente, parecer exigir algún tipo de intervención. Pero no hay nada que carezca intrínsecamente de explicación. No alcanzamos a ver todavía lo bastante lejos como para decidir cuál es la explicación correcta, pero podemos estar seguros de que no era necesaria una intervención. El azar puede haber ido a dar con un conjunto favorable de intensidades de fuerzas. Si no hubieran sido tan favorables, el universo hubiera continuado existiendo igualmente, pero pudieran haber faltado estrellas y planetas, o pudiera haber desaparecido en un momento o haber sido eternamente denso. En ese caso, nosotros no habríamos sido ni más sabios ni más infelices, por la sencilla razón de que no habríamos existido. Pero ¿ha podido ser tan afortunado el solo azar?

Pudiera ser que el azar tropezara con la fortuna. No al comienzo sino con el correr del tiempo, pues un universo que enlaza ciclos de existencia podría retoñar cada vez con un bagaje diferente de intensidades de fuerzas. En nuestro ciclo del universo, que puede que sea el primero pero que muy bien podría ser el diezmilbillonésimo desde la auténtica creación, la estructura reciclada del espaciotiempo soporta una trama de fuerzas que resulta ser cabalmente apta para que aparezcan el conocimiento y la conciencia.

Este universo fue constituido, o reconstituido, por el azar para despertar, como pudo haberlo sido antes innumerables veces y puede serlo otras tantas en el futuro. Puede haber habido universos previos que carecieran de autoconciencia, y otros más desprovistos aún de atributos. Felizmente se derrumbaron y ahora tenemos nuestra oportunidad, como puede que lleguen todavía las oportunidades de otros.

El universo podría ser un acontecimiento único. Una sola creación, un solo acto de montar el muelle y un único deslizamiento irreversible hacia la uniformidad desplegada y la indistinción completa. La igualdad final perfecta,

Se ha investigado[18, 79] la función de las magnitudes de las constantes fundamentales, en especial en qué medida hacen posible la evolución del conocimiento hasta el punto de ser capaz de sentir curiosidad por ellas. También se ha estudiado la posibilidad que tienen de cambiar con el tiempo.[80, 81] Carter[79] indica que la división de las estrellas de la secuencia principal en gigantes azules y en enanas rojas depende de una coincidencia crítica entre las intensidades de las interacciones electromagnética y gravitatoria. Sólo con que la gravedad fuera algo más fuerte (o α, p. 22, ligeramente más débil) todas las estrellas de la secuencia principal serían gigantes azules. Parece que la formación de planetas implica que haya enanas rojas, y, por tanto, en ese caso no hubieran aparecido ni planetas ni probablemente tampoco el conocimiento. Carr y Rees[18] tratan el tema con más detalle y se ocupan del tamaño de los planetas, de las montañas, de los hombres y de la distribución de los elementos.

desprovista de actividad y de la expectativa de una actividad renovada. Un espaciotiempo plano y muerto.

Ni siquiera en ese universo hay una finalidad tras las benevolentes fuerzas. Pudiera ser el azar quien les hubiese dado a las fuerzas sus intensidades, y nosotros seríamos los beneficiarios vivos gracias al azar, sin saber qué pasaría si las cosas hubieran sido de otra manera. Puede ser que las intensidades de las fuerzas cambien con el tiempo, y que vivamos en un universo durante el período en que resulta que son favorables.

El universo ha despertado durante este período de benevolencia; ha surgido el conocimiento, no porque se tuviera necesidad de él, sino simplemente porque ha ocurrido así, y el universo volverá a dormirse cuando haya pasado el período y las fuerzas tengan nuevas intensidades. Nosotros, nosotros el universo, sólo ahora estamos despiertos y lo estamos necesariamente porque estamos rodeados de benevolencia.

Probablemente sucede que la generación de un espaciotiempo, en una transición desde el vacío, lleve necesariamente a las mismas intensidades de fuerzas que nosotros conocemos, ya que las fuerzas son aspectos de la estructura del espaciotiempo. Tampoco esto implica ningún plan o intención; podemos seguir siendo los hijos de un azar a la ventura.

Las fuerzas, las constantes fundamentales de la naturaleza tales como la velocidad de la luz o la intensidad de la carga eléctrica, pueden no significar otra cosa que la estructura (o nuestra descripción de la estructura) del espaciotiempo; y la constancia de sus valores nos tendría que producir tan poca admiración y sorpresa como la constancia de 1,609 344 km por milla, o la constancia de π. Para estar seguros de que ésta es la explicación correcta tenemos que acudir a la física del futuro inmediato.

Cuando nos hayamos ocupado de los valores de las constantes fundamentales viendo que son irremediablemente tales y hayamos concluido que son irrelevantes, ha-

La ciencia fundamental puede estar casi tocando a su fin, y pudiera estar concluida en la próxima generación. Esto mismo se ha dicho en épocas anteriores, pero en esos otros casos se confundía lo pequeño con lo simple. Sólo cuando se ha mondado la estructura hasta el punto en que ya no requiere ninguna estructura adicional (cuando se la ha pelado hasta llegar a una extrema simplicidad, como por ejemplo la ausencia de extensión espacial) podemos confiar en que hemos llegado al final. Sólo cuando se ha podido explicar todo en términos sumamente simples, cuando cada cosa casi literalmente encaja en su lugar sin que hayamos tenido que explicar sus propiedades, sólo entonces estará la ciencia fundamental a punto de descansar.

Esto no quiere decir que el conjunto de la ciencia vaya nunca a reposar. Hay problemas sumamente difíciles e importantes, como por ejemplo los concernientes a los detalles de la función biológica, que seguirán en pie al menos durante unos cuantos siglos. Estas cuestiones implican estudios e investigaciones de las ramas del árbol del conocimiento, pero pronto estará establecida cualitativa y cuantitativamente la naturaleza fundamental del mundo, las raíces del árbol.

bremos llegado a una comprensión completa. La ciencia fundamental puede entonces descansar. Estamos casi en ello. El conocimiento completo está a nuestro alcance. La comprensión recorre la faz de la Tierra, como el amanecer.

BIBLIOGRAFÍA

1. "La evolución", *Investigación y Ciencia*, núm. 38 (noviembre 1978), 7-16. (Véase, también, *Evolución*, 2.ª ed., Prensa Científica/Labor, 1982, Libros de Investigación y Ciencia.)
2. R. DAWKINS: *The selfish gene*, Oxford University Press, 1976. (*El gen egoísta*, Salvat Editores, S. A., 1994.)
3. L. STRYER: *Biochemistry*, 2.ª ed., W. H. Freeman, 1981. (*Bioquímica*. Reverté, 1978.)
4. R. E. DICKERSON: "La evolución química y el origen de la vida", *Investigación y Ciencia*, núm. 26 (noviembre 1978), 34-53.
5. S. MITTON (ed.): *The Cambridge Encyclopaedia of Astronomy*, Jonathan Cape, 1977.
6. F. HOYLE: *Astronomy and Cosmology*, W. H. Freeman, 1975.
7. N. CALDER: *The Key to the Universe*, BBC Publications, 1977.
8. C. W. MISNER, K. S. THORME y J. A. WHEELER: *Gravitation*, W. H. Freeman, 1973.
9. M. ROWAN-ROBINSON: *Cosmology*, 2.ª ed., Oxford University Press, 1981.
10. P. J. E. PEEBLES: *Physical Cosmology*, Princeton University Press, 1971.
11. S. L. JAKI: "Olbers", Halley's, or whose Paradox?", *American Journal of Physics*, *35* (1961), 200-210.

12. P. T. LANDSBERG y D. A. EVANS: *Mathematical Cosmology*, Clarendon Press, 1977.
13. A. V. CREWE: "A high resolution scanning electron microscope", *Scientific American, 224*, núm. 4 (1971), 26-35.
14. P. W. ATKINS: *Physical Chemistry*, 2.ª ed., Oxford University Press y W. H. Freeman, 1982.
15. P. W. ATKINS: *Quanta; Handbook of Concepts*, Oxford University Press, 1974.
16. E. SCHRÖDINGER: *What is life?*, Cambridge University Press, 1969. (*Qué es la vida*, Avance, 1976.)
17. F. J. DYSON: "Time without end: Physics and Biology in an Open Universe", *Reviews of Modern Physics, 51*, (1979), 447-460.
18. B. J. CARR, M. J. REES: "The Anthropic Principle and the Structure of the Physical World", *Nature, 278* (1979), 605-612.
19. J. C. POLKINGHORNE: *The Particle Play*, W. H. Freeman, 1979.
20. F. J. DYSON; "Energy in the Universe", *Scientific American, 225*, núm. 3 (1971), 50-59.
21. B. B. MANDELBROT: *Fractals: Form, Chance and Dimension*, W. H. Freeman, 1977.
22. I. PRIGOGINE: *From Being to Becoming*, W. H. Freeman, 1980.
23. P. C. W. DAVIES: *The Physics of Time Asymmetry*, Surrey University Press, 1974.
24. P. W. ATKINS y M. J. CLUGSTON: *The Principles of Physical Chemistry*, Pitman, 1982.
25. I. M. KLOTZ: *Energy Changes in Biochemical Reactions*, Academic Press, 1967.
26. A. LEHNINGER: *Biochemistry*, 2.ª ed., Worth, 1975. *Bioquímica*, Omega, 1977.)
27. P. C. HANAWALT y R. H. HAYNES (eds).: "The Chemical Basis of Life", *Scientific American*, W. H. Freeman, 1973.
28. "El Cerebro", *Investigación y Ciencia*, núm. 38 (noviembre 1979). (Véase, también, *El cerebro*, 2.ª ed., Prensa Científica/Labor, 1981, Libros de Investigación y Ciencia.)
29. J. Z. YOUNG: *Programs of the Brain*, Oxford University Press, 1978.
30. C. F. STEVENS: "La neurona", *Investigación y Ciencia*, núm. 38 (noviembre 1979), 22-34.
31. B. KATZ: *Nerve, Muscle, and Synapse*, McGraw-Hill, 1966.
32. S. ROSE: *The Conscious Brain*, Penguin Books, 1976.

BIBLIOGRAFÍA

33. M. BODEN: *Artificial Intelligence and Natural Man*, Basic Books, 1977.
34. E. R. KANDEL: "Microsistemas de neuronas", *Investigación y Ciencia*, núm. 38 (noviembre 1979), 36-48.
35. W. YOURGRAU y S. MANDELSTAM: *Variation Principles in Dynamics and Quantum Theory*, Pitman, 1968.
36. "Light", *Scientific American, 219*, núm. 3 (sept. 1968).
37. H. GOLDSTEIN: *Classical Mechanics*, Addison-Wesley, 1950. (*Mecánica clásica*, Aguilar, 1970.)
38. R. P. FEYNMAN y A. R. HIBBS: *Quantum Mechanics and Phase Integrals*, McGraw-Hill, 1965.
39. R. P. FEYNMAN, R. B. LEIGHTON y M. SANDS: *The Feynman Lectures in Physics*, vol. 3, Addison-Wesley, 1963.
40. W. J. KAUFMANN III: *Black Holes and Warped Spacetime*, Freeman, 1979.
41. W. L. BURKE: *Spacetime, Geometry, Cosmology*, University Science Books, 1980.
42. J. C. GRAVES: *The Conceptual Foundations of Contemporary Relativity Theory*, MIT Press, 1971.
43. G. J. WHITROW: *The Natural Philosophy of Time*, 2.ª ed., Clarendon Press, 1980.
44. E. F. TAYLOR y J. A. WHEELER: *Spacetime Physics*, Freeman, 1963.
45. H. P. ROBERTSON: "Postulate *versus* Observation in the Special Theory of Relativity", *Reviews of Modern Physics, 21* (1949), 378-382.
46. P.C. W. DAVIES: *The Force of Nature*, Cambridge University Press, 1979.
47. D. Z. FREEDMAN y P. VAN NIEUWENHUIZEN: "Supergravedad y la unificación de las leyes de la física", *Investigación y Ciencia* (abril 1978), 78-91.
48. D. R. HOFSTADTER: *Gödel, Bach, Escher*, Basic Books, 1979.
49. S. E. KIM: "The Impossible Skew Quadrilaterial: A Four-Dimensional Optical Illusion", en *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science, Symposium on Hypergraphics: Visualizing complex relationships in art and science* (ed. D. BRISSON), Westview Press, 1978.
50. M. GARDNER: "Juegos matemáticos", *Investigación y Ciencia*, núm. 42 (marzo 1980), 120-127.
51. G. J. WHITROW: "Why Physical Space has Three Dimensions", *British Journal of the Phylosophy of Science, 6* (1955), 13-31.

52. G. J. WHITROW: *The Structure and Evolution of the Universe*, Harper, 1959.
53. T. L. SATY: "Operations Analysis" en *The Mathematics of Physics and Chemistry* (eds. H. MARGENAU y G. M. MURPHY), vol. 2, Van Nostrand, 1964, 249-320.
54. P. M. MORSE y H. FESHBACH: *Methods of Theoretical Physics*, vol. 1, McGraw-Hill, 1953.
55. P. EHRENFEST: "In what Way does it Become Manifest in the Fundamental Laws of Physics that Space has Three Dimensions?", *Proceedings of the Amsterdam Academy*, *20* (1917), 200-209.
56. P. C. W. DAVIES: *Other Worlds*, Dent, 1980. (*Otros mundos*, Salvat Editores, S. A., 1994.)
57. L. NEUWIRTH: "Teoría de nudos", *Investigación y Ciencia*, núm. 35 (agosto 1979), 52-66.
58. R. COURANT y H. ROBBINS; *What is Mathematics?*. Oxford University Press, 1941. (*Qué es la matemática*, Aguilar, 1967.)
59. C. REBBI: "Solitones", *Investigación y Ciencia*, núm. 31 (abril 1979), 64-81.
60. Z. PARSA: "Topological Solitions in Physics", *American Journal of Physics*, *47* (1979), 56-62.
61. P. COLLAS: "General Relativity in Two-and Three-dimensional Space-times", *American Journal of Physics*, *45* (1977), 833-837.
62. R. PENNEY: "On the Dimensionality of the Real World", *Journal of Mathematical Physics*, *6* (1965), 1607-1611.
63. J. DORLING: "The Dimensionality of Time", *American Journal of Physics*, *38* (1970), 539-540.
64. C. M. PATTON y J. A. WHEELER: "Is Physics legislated by Cosmogony?", en *Quantum Gravity* (eds. C. J. ISHAM, R. PENROSE y D. W. SCIAMA), Clarendon Pres, 1975. 538-605; y también en *The Enciclopaedia of Ignorance* (eds. R. DUNCAN y M. WESTON-SMITH), Pergamon, 1977, 19-35.
65. K. G. WILSON: "Problemas físicos en muchas escalas de longitud", *Investigación y Ciencia*, núm. 37 (octubre 1979), 72-93.
66. H. WEYL: *Symmetry*, Princeton University Press, 1952. (*Simetría*, Ediciones de Promoción Cultural, 1974.)
67. J. ROSEN: *Symmetry Discovered*, Cambridge University Press, 1975.
68. E. H. LOCKWOOD y R. H. MACMILLAN: *Geometric Symmetry*, Cambridge University Press, 1978.

69. R. L. E. SCHWARZENBERGER: *N dimensional Crystallography*, Pitman, 1980.
70. F. WILCZEK: "Asimetría cósmica entre materia y antimateria", *Investigación y Ciencia*, núm. 53 (febrero 1981), 32-41.
71. J. SILK: *The Big Bang*, W. H. FREEMAN, 1980.
72. S. WEINBERG: *The First Three Minutes*. Basic Books, 1977. (*Los tres primeros minutos del Universo*, Salvat Editores, S. A., 1993.)
73. M. GARDNER: "Can Time go backward?", *Scientific American*, *216*, núm. 1 (1967), 98-108.
74. J. R. LUCAS: *A Treatise on Time and Space*, Methuen, 1973, 44.
75. R. PENROSE: "Angular Momentum: An Approach to Combinatorial Spacetime", en *Quantum Theory and Beyond* (ed. T. BASTIN), Cambridge University Press, 1971, 151-180.
76. K. A. JOHNSON: "El modelo en bolsa del confinamiento de los quarks", *Investigación y Ciencia*, núm. 36 (septiembre 1979), 76-86.
77. Cf. *Scientific American*, *244*, núm. 2 (1981), 64-68.
78. H. E. HUNTLEY: *The Divine Proportion*, Dover, 1970.
79. B. CARTER: *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data* (ed. M.S. LONGAIR), Reidel, 1974.
80. F. J. DYSON: "The Fundamental Constants and their Time Variation", en *Aspects of Quantum Theory* (eds. A. SALAM y E. P. WIGNER), Cambridge University Press, 1972, 213-236.
81. P. S. WESSON: *Cosmology and Geophysics*, Hilger, 1978.

BIBLIOTECA CIENTÍFICA SALVAT

1. **Stephen Hawking.** *Una vida para la ciencia.* Michael White y John Gribbin
2. **La verdadera historia de los dinosaurios.** Alan Charig
3. **La explosión demográfica.** *El principal problema ecológico.* Paul R. Ehrlich y Anne H. Ehrlich
4. **El monstruo subatómico.** *Una exploración de los misterios del Universo.* Isaac Asimov
5. **El gen egoísta.** *Las bases biológicas de nuestra conducta.* Richard Dawkins
6. **La evolución de la física.** Albert Einstein y Leopold Infeld
7. **El secreto del Universo.** *Y otros ensayos científicos.* Isaac Asimov
8. **Qué es la vida.** Joël de Rosnay
9. **Los tres primeros minutos del Universo.** Steven Weinberg
10. **Dormir y soñar.** *La mitad nocturna de nuestras vidas.* Dieter E. Zimmer
11. **El hombre mecánico.** *El futuro de la robótica y la inteligencia humana.* Hans Moravec
12. **La superconductividad.** *Historia y leyendas.* Sven Ortoli y Jean Klein
13. **Introducción a la ecología.** *De la biosfera a la antroposfera.* Josep Peñuelas
14. **Miscelánea matemática.** Martin Gardner
15. **El Universo desbocado.** *Del Big Bang a la catástrofe final.* Paul Davies
16. **Biotecnología.** *Una nueva revolución industrial.* Steve Prentis
17. **El telar mágico.** *El cerebro humano y la computadora.* Robert Jastrow
18. **A través de la ventana.** *Treinta años estudiando a los chimpancés.* Jane Goodall
19. **Einstein.** Banesh Hoffmann
20. **La doble hélice.** *Un relato autobiográfico sobre el descubrimiento del ADN.* James Watson
21. **Cien mil millones de soles.** *Estructura y evolución de las estrellas.* Rudolf Kippenhahn
22. **El planeta viviente.** *La adaptación de las especies a su medio.* David Attenborough
23. **Evolución humana.** Roger Lewin
24. **El divorcio entre las gaviotas.** *Lo que nos enseña el comportamiento de los animales.* William Jordan
25. **Lorenz.** Alec Nisbett

26. **Mensajeros del paraíso.** *Las endorfinas, drogas naturales del cerebro.* Charles F. Levinthal
27. **El Sol brilla luminoso.** Isaac Asimov
28. **Ecología humana.** *La posición del hombre en la naturaleza.* Bernard Campbell
29. **Sol, lunas y planetas.** Erhard Keppler
30. **Los secretos de una casa.** *El mundo oculto del hogar.* David Bodanis
31. **La cuarta dimensión.** *Hacia una geometría más real.* Rudy Rucker.
32. **El segundo planeta.** *El problema del aumento de la población mundial.* U. Colombo y G. Turani
33. **La mente (I).** Anthony Smith
34. **La mente (II).** Anthony Smith
35. **Introducción a la química.** Hazel Rossotti
36. **El envejecimiento.** David P. Barash
37. **Edison.** Fritz Vögtle
38. **La inestable Tierra.** *Pasado, presente y futuro de las catástrofes naturales.* Basil Booth y Frank Fitch
39. **Gorilas en la niebla.** *13 años viviendo entre los gorilas.* Dian Fossey
40. **El espejo turbulento.** *Los enigmas del caos y el orden.* John Briggs y F. David Peat
41. **El momento de la creación.** *Del Big Bang hasta el Universo actual.* James S. Trefil
42. **Dios y la nueva física.** Paul Davies
43. **Evolución.** *Teorías sobre la evolución de las especies.* Wolfgang Schwoerbel
44. **La enfermedad, hoy.** Lluís Daufí
45. **Iniciación a la meteorología.** Mariano Medina
46. **Los niños de Urania.** *En busca de las civilizaciones extraterrestres.* Evry Schatzman
47. **Amor y odio.** *Historia natural del comportamiento humano.* Irenäus Eibl-Eibesfeldt
48. **Matemáticas e imaginación (I).** Edward Kasner y James Newman
49. **Matemáticas e imaginación (II).** Edward Kasner y James Newman
50. **Darwinismo y asuntos humanos.** Richard Alexander
51. **La explosión de la relatividad.** Martin Gardner
52. **Las plantas.** *Amores y civilizaciones vegetales.* Jean-Marie Pelt
53. **La Tierra en movimiento.** John Gribbin
54. **Orígenes.** *Lo que sabemos actualmente sobre el origen de la vida.* Robert Shapiro
55. **Los rituales amorosos.** *Un aspecto fundamental en la comunicación de los animales.* Eberhard Weismann
56. **Del pez al hombre.** Hans Hass
57. **La liebre y la tortuga.** *Cultura, biología y naturaleza humana.* David P. Barash
58. **La frontera del infinito.** *De los agujeros negros a los confines del Universo.* Paul Davies
59. **Las flechas del tiempo.** *Una visión científica del tiempo.* Richard Morris
60. **La naturaleza inacabada.** *Ensayos en torno a la evolución.* Francisco J. Ayala
61. **Darwin.** Julian Huxley y H. B. D. Kettlewell
62. **Fórmulas del éxito en la naturaleza.** *Sinergética: la doctrina de la acción de conjunto.* Hermann Haken
63. **Otros mundos.** *El espacio y el Universo cuántico.* Paul Davies
64. **El panorama inesperado.** *La naturaleza vista por un físico.* James S. Trefil
65. **Los alimentos y la salud.** Organización Mundial de la Salud
66. **En busca del gato de Schrödinger.** *La fascinante historia de la mecánica cuántica.* John Gribbin
67. **Leyendas de la Tierra.** Dorothy Vitaliano
68. **Tomándose a Darwin en serio.** *Implicaciones filosóficas del darwinismo.* Michael Ruse
69. **Los sonámbulos (I).** *Los fundadores de la astronomía moderna.* Arthur Koestler
70. **Los sonámbulos (II).** *Los fundadores de la astronomía moderna.* Arthur Koestler
71. **Cómo se comunican los animales.** Heribert Schmid
72. **El amanecer cósmico.** *Orígenes de la materia y la vida.* Eric Chaisson
73. **Cerebro y psique.** Jonathan Winson
74. **Superfuerza.** Paul Davies
75. **El clima futuro.** John Gribbin
76. **Doce pequeños huéspedes.** *Vida y costumbres de unas criaturas «insoportables».* Karl von Frisch
77. **Los secretos de la psicología.** D. Coleman y J. Freedman
78. **El escarabajo sagrado (I).** *Y otros grandes ensayos sobre la ciencia.* Martin Gardner.
79. **El escarabajo sagrado (II).** *Y otros grandes ensayos sobre la ciencia.* Martin Gardner
80. **Luz del confín del Universo.** *El Universo y sus inicios.* Rudolf Kippenhahn
81. **Rompecabezas y paradojas científicos.** Christopher P. Jargocki
82. **La construcción de la era atómica.** Alwyn McKay
83. **Cazadores de microbios.** Paul de Kruif
84. **En busca de la doble hélice.** *La evolución de la biología molecular.* John Gribbin
85. **Naturalistas curiosos.** Niko Tinbergen





¿Por qué, cómo y dónde cambian las cosas?
¿Cuántas dimensiones hay en el espacio?
¿Por qué transcurre el tiempo?
El autor responde a estas y otras preguntas relacionadas con el tema con una lógica particular. Pretende demostrar que es posible pensar racionalmente acerca de cuestiones que, en opinión de muchos, escapan a toda posible explicación, tales como los procesos implicados en la creación del Universo y la aparición en él del conocimiento.

La creación es a la vez una visión dominante y poética de la ciencia: "No hay nada que no pueda ser entendido" sostiene Atkins. Peter W. Atkins es profesor de Química en la Universidad de Oxford y miembro de la junta de gobierno del Lincoln College.

Peter W. Atkins

87

La creación

Peter W. Atkins

Biblioteca
Científica
Salvat

¿Por qué, cómo y dónde cambian las cosas?
¿Cuántas dimensiones hay en el espacio?
¿Por qué transcurre el tiempo?
El autor responde a estas y otras preguntas relacionadas con el tema con una lógica particular. Pretende demostrar que es posible pensar racionalmente acerca de cuestiones que, en opinión de muchos, escapan a toda posible explicación, tales como los procesos implicados en la creación del Universo y la aparición en él del conocimiento.

La creación es a la vez una visión dominante y poética de la ciencia: "No hay nada que no pueda ser entendido" sostiene Atkins.
Peter W. Atkins es profesor de Química en la Universidad de Oxford y miembro de la junta de gobierno del Lincoln College.





La creación

Peter W. Atkins

Biblioteca Científica Salvat